

FG-2201-NHB-A-BA-RT11-02

À

**NORSK HYDRO BRASIL**

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita &amp; Alumina

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

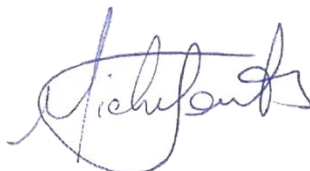
Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana do DRS1, 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 DRS1 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-RT11-02

# RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

CLIENTE:



PROJETO:

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

**BARCARENA - PA**



agosto/2023

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

REV.	DATA	POR	REVISÃO	APROV.	DESCRIÇÃO DE REVISÕES
0	29/04/22	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/ GHA	GHA	EMISSÃO INICIAL
1	10/03/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/ GHA	ACS	ATENDIMENTO A COMENTÁRIOS
2	03/08/23	BSC/RCM /RCJ	ACS	ACS	APROVADO

Esta é a folha de controle de revisões deste documento. Uma breve descrição de cada revisão do documento deverá constar nesta folha. O tipo de emissão está demarcado abaixo em negrito.

**TE – TIPO DE EMISSÃO**

(A) PRELIMINAR

(E) PARA CONSTRUÇÃO

(B) PARA APROVAÇÃO

(F) CONFORME COMPRADO

**(C) PARA CONHECIMENTO**

(G) CONFORME CONSTRUÍDO

(D) PARA COTAÇÃO

(H) CANCELADO

## SUMÁRIO

<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. DADOS UTILIZADOS .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....</b>	<b>9</b>
<b>5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA.....</b>	<b>10</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO .....	13
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	19
5.2.1 <i>Histórico de Investigações</i> .....	21
5.2.2 <i>Geologia Local</i> .....	23
5.3 DRENAGEM INTERNA .....	24
5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL .....	24
5.5 INSTRUMENTAÇÃO .....	25
5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1 .....	25
<b>6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....</b>	<b>30</b>
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	30
7.2 CÉLULA INICIAL .....	34
7.3 CÉLULA 1 (EXPANSÃO 1) .....	37
7.4 CÉLULA 2, 3 E 4 (EXPANSÃO 2, 3 E 4).....	40
7.5 CÉLULA 5, 6 E 7 (EXPANSÕES 5, 6 E 7) .....	44
7.6 CÉLULA SUL.....	45
7.6.1 <i>Aplicação, instalação e soldagem da geomembrana PEAD</i> .....	45
7.6.2 <i>Certificação das geomembranas</i> .....	50
7.7 CÉLULA LESTE 1 (CL1).....	52
7.8 CÉLULA LESTE 2 (CL2).....	54
7.9 CÉLULA LESTE 3 (CL3).....	55
7.9.1 <i>Especificações técnicas construtivas</i> .....	55
7.9.2 <i>Ensaio não destrutivo</i> .....	57
7.9.3 <i>Considerações do auditor específicas ao revestimento da CL3</i> .....	67

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

7.10	PROJETO “AS IS” DO DRS1 ATUALIZADO .....	69
7.11	CONSIDERAÇÕES GERAIS DO AUDITOR .....	73
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>

## 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 (As bacias operacionais são BC1, BC 2, BC 3, BC 5 e BC 6; e as bacias descaracterizadas são BC4 e BC7)
- CL – Célula Leste
- 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

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

- 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 do 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.

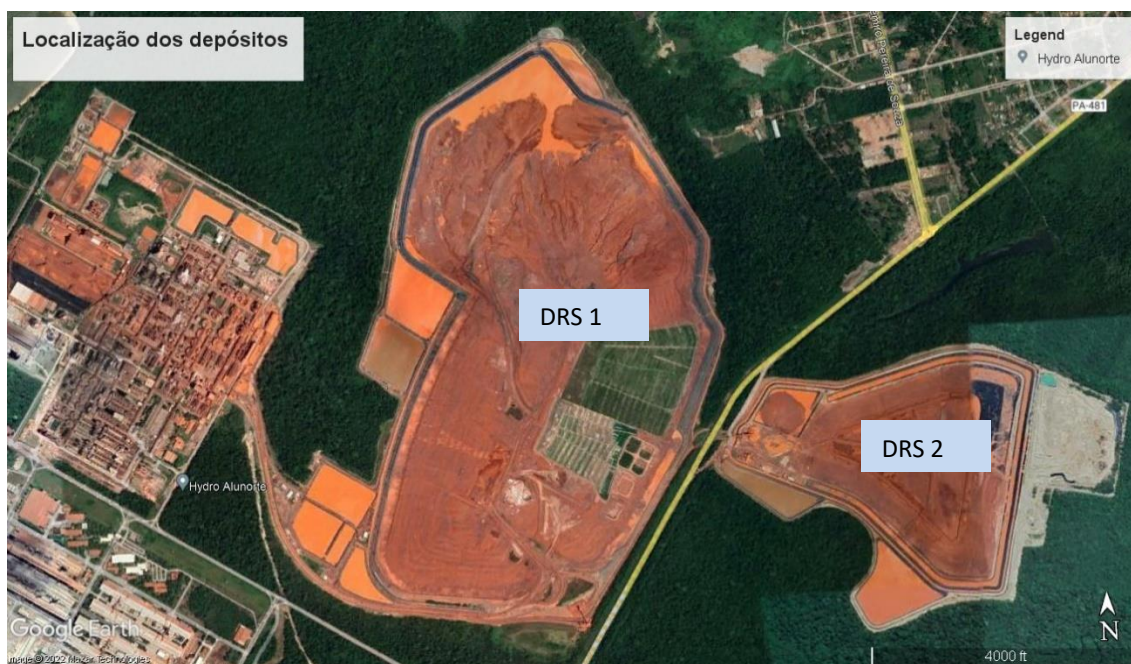


Figura 1.1 – Localização do empreendimento

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 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 -



		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

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), 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 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 DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

- 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 DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

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 resíduos DRS1.

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 serviços, porque em alguns casos havia perguntas com temas que teriam melhor

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

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 efetivamente consultados para avaliação nesse relatório são apresentados na Tabela 3.1.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**
**Tabela 3.1 – Documentos recebidos e utilizados na elaboração deste estudo**

<b>CÓDIGO</b>	<b>TÍTULO DO DOCUMENTO</b>	<b>ELABORADO POR</b>	<b>DATA</b>
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is” – Relatório e Desenhos	PIMENTA DE AVILA	29/07/21
-	Relatórios de Serviços de Impermeabilização com Manta PEAD do Depósito DRS1. Número de arquivos: 11	MELO Equipamentos e Serviços de Construção	Out/2013 a Dez/2013, Jan/ 2014 a Abr/2014, Ago/2014 a Nov/2014.
ES-3540-54-G-222	Especificação Técnica de Recebimento, Aceitação e Instalação do Sistema de Impermeabilização da CL3	PIMENTA DE AVILA	15/12/2012
-	Relatório <i>As Built</i> da Impermeabilização da Célula Sul do DRS1	RECORD ENGENHARIA	07/04/2008
CD-BALN-54-P-002	Design criteria_Area 54	ALCAN INTERNATIONAL LIMITED	1984
D0-1000-54-G-015 1	1ª etapa alternativa ‘C’ – Transporte por Caminhões – Planta, Cortes e Detalhes	ALUNORTE	1993
CD-1000-54-H-002	Critérios para projeto da área de rejeitos sólidos - Área 54	ALUNORTE	1993
D1-1850-54-G-001 1	Planta – Impermeabilização com membrana sintética	LPS Engenharia e Consultoria	1994
D1-12894-G-001 1-12314	Impermeabilização com membrana PEAD área 54A	ENGEPOL S.A.	1994
D1-12894-G-001 1-12315	Bacia de Controle - Impermeabilização com membrana PEAD área 54A	ENGEPOL S.A.	1994
CI-RAE-086/96	Memorial Descritivo da 1ª expansão DRS1	ALUNORTE	1996
DI-3000-54-G-002	Projeto de drenagem da 1 expansão do DRS1– Planta, cortes e detalhes	ALUNORTE	1996
D1_3000_54_G_011_00_AREA 54A	Projeto de drenagem da célula 2 do DRS1– Planta, cortes e detalhes	ALUNORTE	1996
D1_3000_54_G_036_00_AREA 54A	Projeto de drenagem da célula 3 do DRS1– Planta, cortes e detalhes	ALUNORTE	1997
D1-3000-54-G-117 1	Depósito de Rejeitos Sólidos 4ª fase de expansão – projeto de drenagem	ALUNORTE	1998

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

<b>CÓDIGO</b>	<b>TÍTULO DO DOCUMENTO</b>	<b>ELABORADO POR</b>	<b>DATA</b>
MD-3000-54-G-001	Memorial Descritivo da 5ª fase de expansão do DRS1	ALUNORTE	1999
D0-3000-54-G-122 001	Projeto Planialtimétrico da 5ª fase de expansão – cél. 5	ALUNORTE	1999
DX-3500-54-C-018 1	6ª Fase de expansão – cél 6 – locação da bacia e rápidos	JC Topografia	2001
D1-3500-54-C-027 1	7ª Fase de expansão – Cél 7 – Planta Baixa	JC Topografia	2002
D1-3310-54-L-001 001 R00	Area-54A (DRS) – Material estocado – Topografia	JC Topografia	2008
D1-3310-54-L-001 002 R00	Área 54A – DRS – Bacia Sul (Depósito de rejeitos sólidos) – Topografia – Desenho dos perfis das seções	JC Topografia	2008
ES-3540-54-G-813 001	Conforme Especificações Técnicas de Construção da Célula Leste 1	PIMENTA DE ÁVILA	2009
RT-3540-54-G-002	Relatório Técnico “As Built” da construção da célula Leste 1	PIMENTA DE ÁVILA	2010
MD-3540-54-G-091	Memorial Descritivo da célula leste – CL2 e CL3	PIMENTA DE ÁVILA	2010
-	Controle de Lançamento de Geomembrana do DRS1 – Célula Leste 3	MELO CONSTRUTORA LTDA	2013

#### **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.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

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

Conforme indicado no Relatório Técnico do Projeto “As Is”, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 2021, doc. RT-3540-54-G-570-R01, o depósito DRS1 foi projetado para armazenar os resíduos industriais advindos do beneficiamento da bauxita. Até o ano de 2005, os resíduos industriais eram provenientes exclusivamente do beneficiamento da bauxita da Mineração Rio do Norte (MRN) e, posteriormente a esta data, iniciou-se o beneficiamento da bauxita proveniente da Mineração Bauxita Paragominas (MBP).

O relatório acrescenta que, até novembro de 2018, o sistema utilizado pela ALUNORTE para desaguamento dos resíduos era por filtro tambor, obtendo-se um resíduo com cerca de 60% de teor de sólido. A partir de novembro de 2018, passou-se a utilizar o sistema de filtragem do resíduo por filtro prensa, obtendo-se um teor de sólidos de aproximadamente 78%.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

No doc. RT-3540-54-G-570-R01, a PIMENTA DE AVILA (2021) informa que o início da construção do DRS1 ocorreu em 1994. A Figura 5.1 indica os elementos existentes no DRS1 e, a seguir, apresenta-se a sequência construtiva do DRS1:

- 1994/1995 – Implantação da Célula Inicial em etapa única;
- 1997 – Implantação das Células 1 e 2 em etapa única;
- 1998 – Implantação das Célula 3 em etapa única;
- 1999 – Implantação das Células 4 e 5 em etapa única;
- 2000 – Implantação das Célula 6 em etapa única;
- 2003 – Implantação das Célula 7 em etapa única;
- 2004-2006 – Alçamento a jusante dos diques periféricos das células existentes;
- 2006/2007 – Implantação das Célula Sul em etapa única;
- 2009/2010 – Implantação da Célula Leste 1 (CL1) em etapa única;
- 2009/2010 – Implantação das Bacias de Controle BC3 e BC4;
- 2010 – Implantação da Célula Leste 2 (CL2) em etapa única;
- 2011/2012 – Implantação da Célula Leste 3 (CL3) em etapa única;
- 2012 – Implantação das Bacias de Controle BC5 e BC6;
- 2019 – Implantação do Acesso Externo à Célula Leste 3 (CL3).



**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



Figura 5.1 – Identificação das células e bacias de contribuição do DRS1 (Pimenta de Avila, 2021).

A partir de 2003, com o projeto de implantação da célula 7, a PIMENTA DE AVILA assumiu a função de projetista do DRS1, responsabilizando-se pela elaboração dos projetos posteriores a esta data. Acrescenta-se que a nomenclatura “DRS1” passou a ser

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

utilizada após a implantação da Célula Sul. Anteriormente, o depósito era referido como “DRS – Área 54A”.

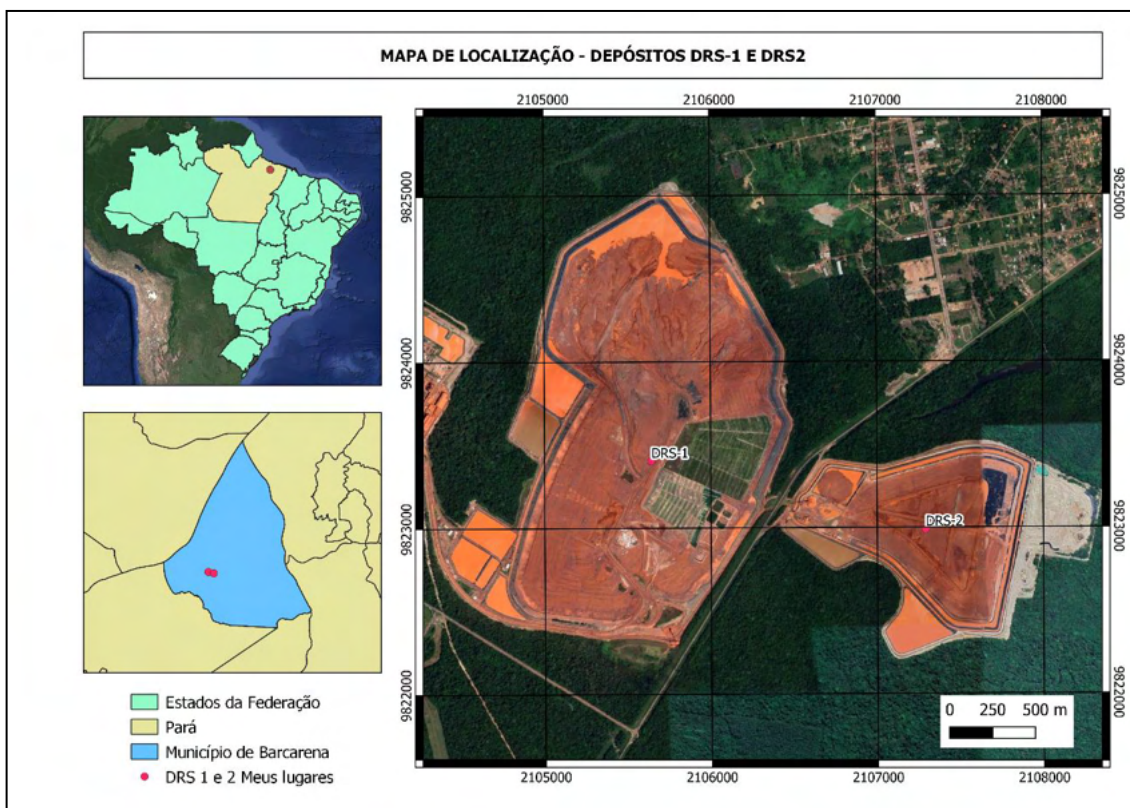
## 5.1 LOCALIZAÇÃO

Localizados 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 754.812 E 9.828.482 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 DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**


**Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2**

O município de Barcarena está localizado no bioma Amazônia, apresentando 1.310,34 km<sup>2</sup> de área (IBGE, 2021). Apresenta esgotamento sanitário adequado para 27,8% de seus habitantes (IBGE, 2010).

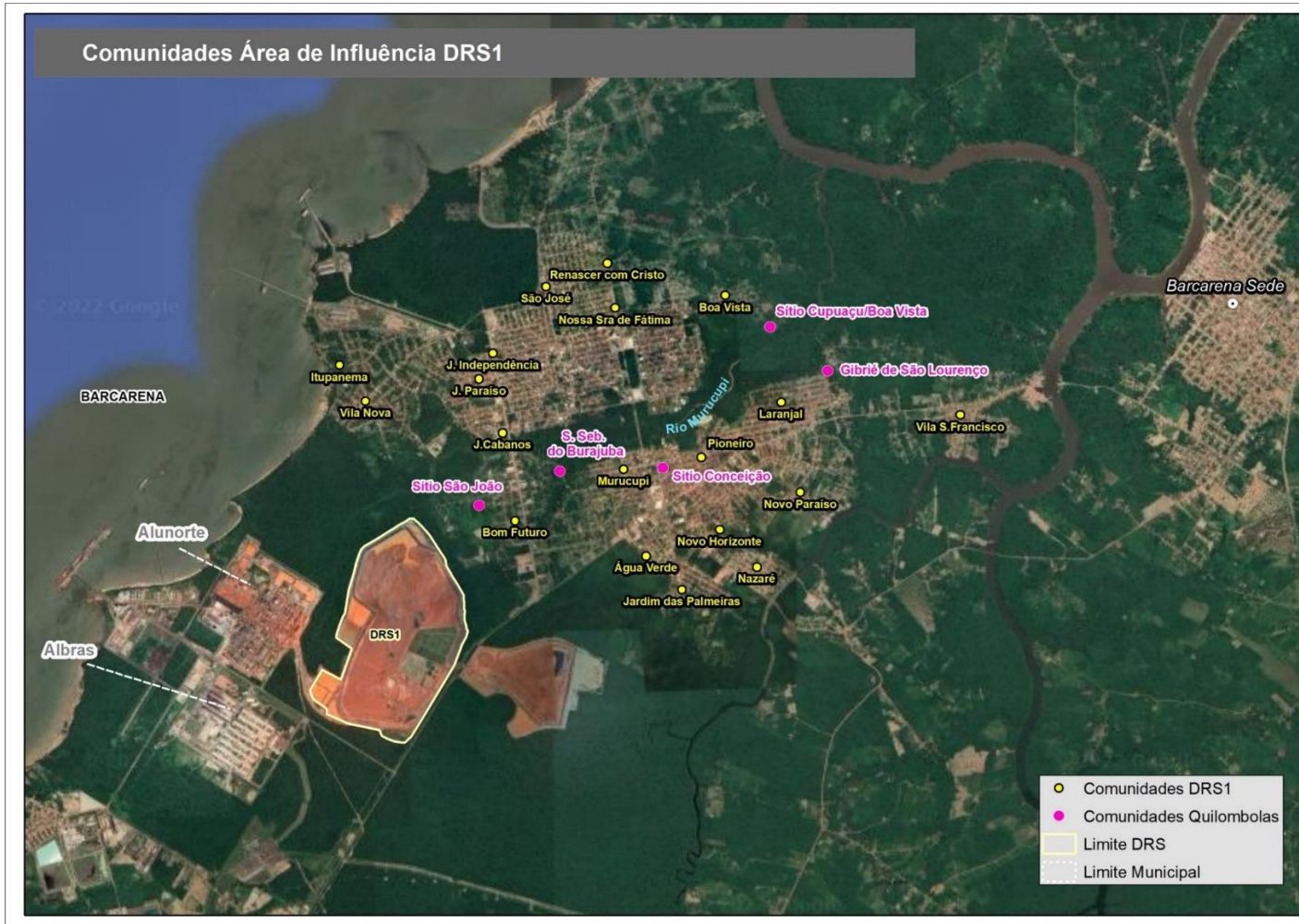
A estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses dezembro e junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio.

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes., apresentando densidade demográfica de 76,21 habitantes por quilômetro quadrado. Conforme Figura 5.3, identificam-se as comunidades Água Verde, Boa Vista, Bom Futuro, Itupanema, J. Cabanos, J. Independência, J. Paraíso, Jardim das Palmeiras, Laranjal, Murucupi, Nazaré, Nossa Sra.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

De Fátima, Novo Horizonte, Novo Paraíso, Pioneiro, Renascer com Cristo, São José, Vila Nova e Vila São Francisco. Além das comunidades Quilombolas Gibrié de São Lourenço, Sítio Conceição, Sítio Cupuaçu/Boa Vista, Sítio do Burajuba e Sítio São João.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS1 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)**

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

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).

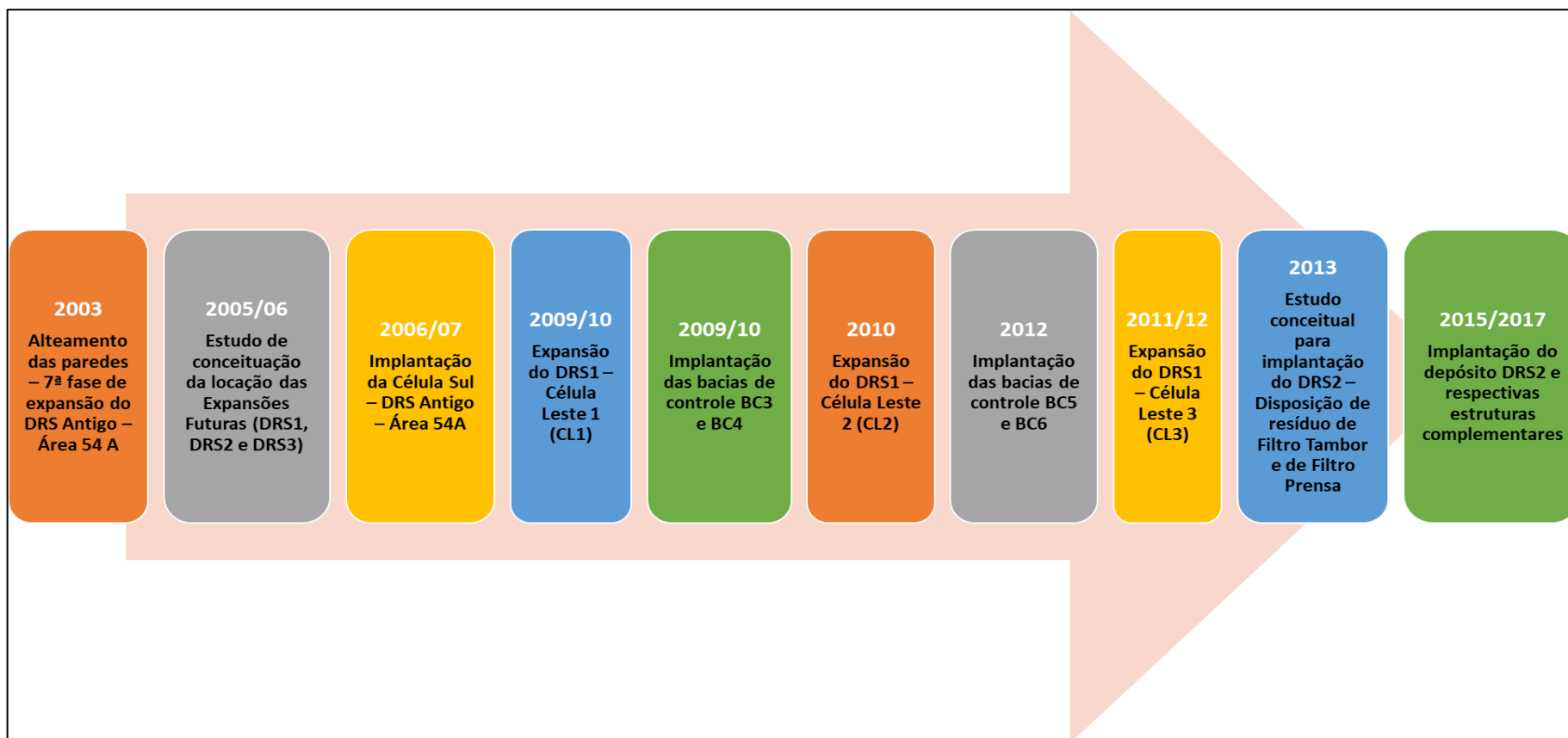


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

## 5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A área de estudo encontra-se inserida no contexto geológico dos sedimentos cenozóicos (< 65,5 milhões de anos) individualizados nas formações: Pirabas e Barreiras, além de 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 DRS1 encontra-se sobre Sedimentos Pós-Barreiras.

Ocupando uma área de aproximadamente 12000 m<sup>2</sup>, que se estende desde a 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.

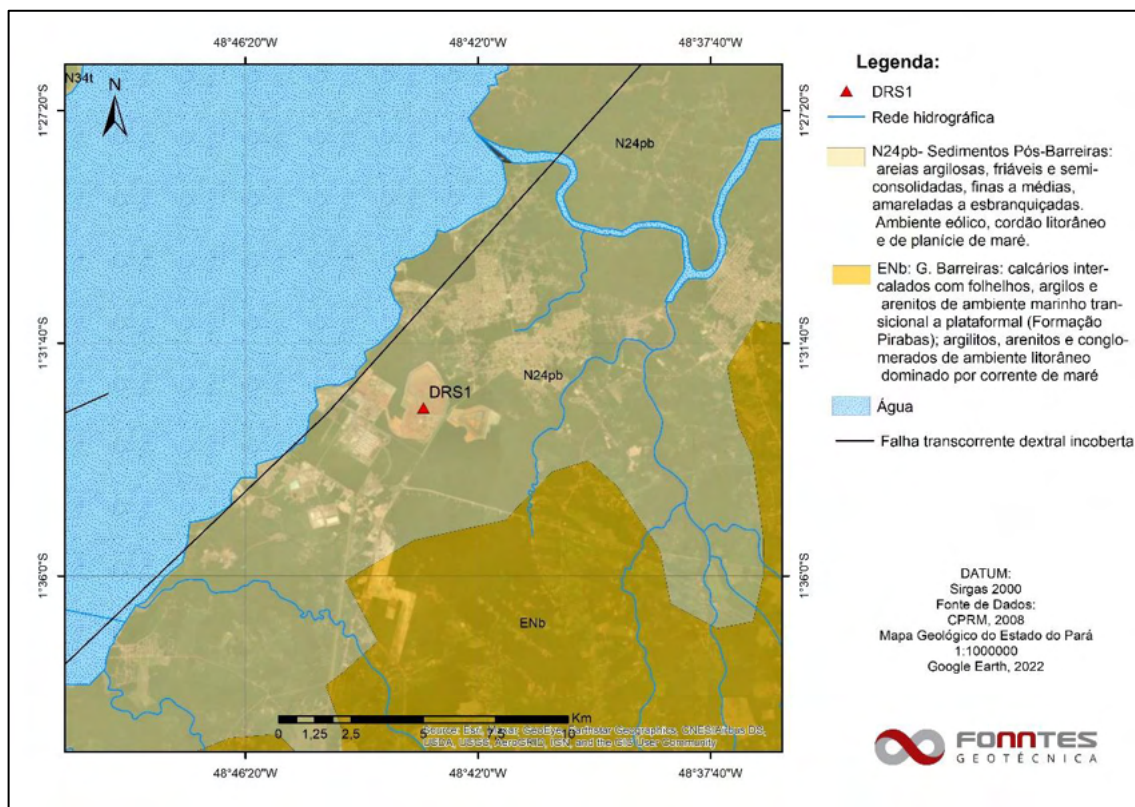
O Grupo Barreiras, também denominado por alguns autores de Formação Barreiras, aflora na costa brasileira, quase continuamente desde o Pará até o Rio de Janeiro. O grupo é constituído por sedimentos de origem continental pouco litificados, oriundos da ação do intemperismo e ciclos geológicos ocorridos 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, 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. Trata-se de areias consolidadas e semi-consolidadas de granulometria fina a média e coloração creme amarelada a branca,



**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

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 DRS1**

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 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.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

### 5.2.1 Histórico de Investigações

A Tabela 5.1 apresenta uma síntese das investigações executadas na área de estudo.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**
**Tabela 5.1 – Tabela resumo do histórico de investigação executada na área da estrutura DRS1**

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
Alteamento das Paredes – 7ª Fase de Expansão – 2003	WS – Geotecnia Ltda	2003	Documento 085/2003
Alteamento das Paredes – 7ª Fase de Expansão – 2003	Geolabor	2003	TLF-2881/0
Projeto de Alteamento da Parede Oeste – Área	WS – Geotecnia Ltda.	2005	Desenho D1-3540-54-G-090
Projeto do Dique de Partida – Célula Sul	Solotécnica Engenharia Ltda.	2006	Documento 073/2006
Expansão do DRS para Leste – CL1/CL2/CL3 – 1ª Etapa	WS-Geotecnia Ltda.	2008	Desenho D1-3540-54-G-093 e documento MD-3540-54- G-091
Expansão do DRS para Leste – CL1/CL2/CL3 – 2ª Etapa	WS-Geotecnia Ltda.	2010	Desenhos D1-3540-54-G-023 a D1-3540-54-G-025 (planta e seções)
Acesso DRS1-DRS2, área de filtragem, desvio e travessia da PA-481	Solotécnica	2014	Documento RT-3541-34-L- 016 e desenhos D1-3541-54- L-008 a D1-3541-54-L-015.
Estudos Geológicos da Fundação – Correia C-34e-04	GEONORT	2015	Documento nº 019/2016
Acesso Externo à CL3	Enviro-Tec	2019	Boletins referentes ao contrato referente ao contrato 4600006593-TAC4 e desenhos D1-3540-54-G- 601 a D1-3540-54-G-603
Instrumentação Complementar – 2019/2020	3Geo Consultoria	2019/2020	Relatório RT-467309-54G- 003
Caracterização dos materiais do reservatório	Fugro In Situ Geotecnia Ltda	2021	RT-468603-54-L-0002 R00, RT-468603-54-L-0003 R00 e RT-468603-54-L-0004 R00

### 5.2.2 Geologia Local

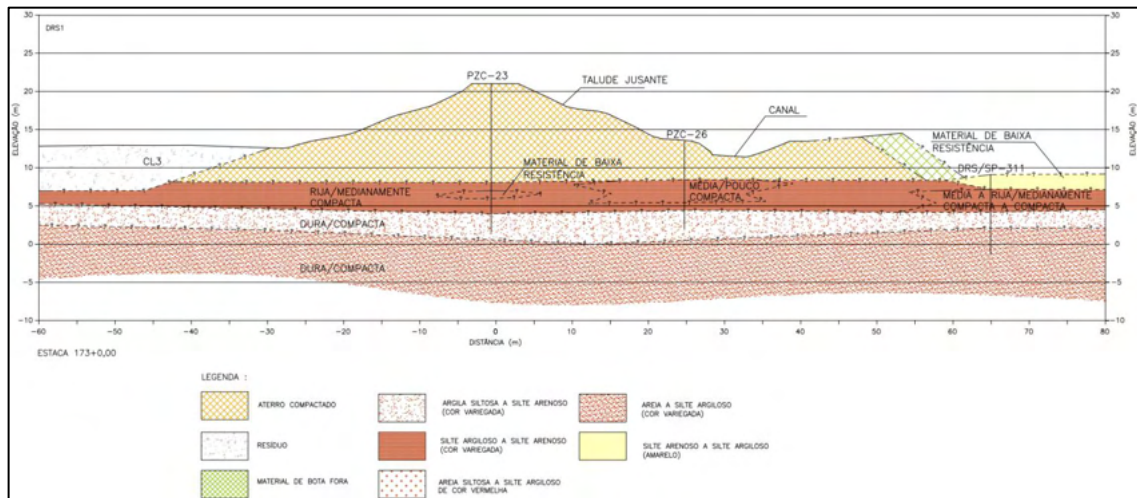
Nesse subitem é apresentada uma síntese do estudo de geologia local desenvolvido no relatório técnico do projeto “As Is”, doc. RT-3540-54-G-1014, elaborado pela empresa PIMENTA DE ÁVILA.

A estrutura DRS1 encontra-se sobre fundação que varia entre materiais predominantemente argilosos a arenosos, com coloração variegada e pontualmente é possível observar a presença de pedregulhos. A camada inferior é caracterizada por apresentar composição silto arenosa a silto argilosa e NSPT variando entre 13 e 35, sendo a média igual a 20. A camada superior apresenta predominantemente material de composição arenosa, com ocorrências de silte e argila. O índice de NSPT varia entre 20 e 34 e o valor médio encontrado é igual a 25.

Na região de jusante do canal de contorno da estrutura, é possível observar a ocorrência de materiais de bota fora, e próximo à estaca 275 ocorrem detritos vegetais e resíduos, de coloração cinza escura e índice de NSPT inferior a 5 golpes.

O aterro é formado por solos argilo-siltosos a silto-arenosos com coloração variegada. Pontualmente é observada a presença de pedregulhos que interferem nos resultados do NSPT, sendo o valor mínimo de NSPT observado igual a 5 e o máximo igual a 54.

A Figura 5.6 apresenta a seção típica que representa a área de interesse.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**


**Figura 5.6 – Seção típica da área de estudo. (Fonte: RT-3540-54-G-1014)**

### 5.3 DRENAGEM INTERNA

Os diques do DRS1, bem como todo o reservatório, os canais de contorno e as bacias de controle, são revestidos com geomembrana PEAD, com espessuras de 1,0 mm e 1,5 mm, variando conforme o ponto de instalação do material. Sendo assim, os diques não apresentam sistema de drenagem interna por serem impermeabilizados.

Os relatórios FG-2201-NHB-A-BA-RT11-00, FG-2201-NHB-A-BA-RT12-00, FG-2201-NHB-A-BA-RT21-00 e FG-2201-NHB-A-BA-RT22-00, referentes aos itens N e O do termo de referência do TAC 3.1, trazem com maior detalhamento avaliação quanto ao material utilizado na impermeabilização dos depósitos e suas características mecânicas de resistência.

### 5.4 SISTEMA EXTRAVASOR E DRENAGEM SUPERFICIAL

Conforme indicado no doc. RT-3540-54-G-570-R01, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2021), o sistema extravasor do DRS1 é composto por 40 rápidos de concreto localizados nos diques periféricos do DRS1. Os rápidos direcionam os efluentes do reservatório do depósito e as águas superficiais para os canais de contorno. Na sequência, o fluxo é

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

encaminhado para as bacias de controle, que armazenam e direcionam os efluentes do sistema para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais ETEI.

Os canais de contorno circundam todo o depósito DRS1 e são divididos em canal norte, sul, leste, oeste e canal CL3. As bacias de controle do depósito são denominadas BC1, BC2, BC3, BC5 e BC6.

### **5.5 INSTRUMENTAÇÃO**

Segundo o doc. RT-3540-54-G-570-R01, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2021), os diques do depósito DRS1 conta com uma série de instrumentos para monitoramento geotécnico, incluindo 35 piezômetros Casagrande, 21 medidores de nível d'água, 113 marcos superficiais, 31 poços de monitoramento. Os níveis das bacias de controle são registrados por meio de réguas limnimétricas.

Além disso, as pilhas de resíduos contam com 43 piezômetros elétricos de corda vibrante e oito poços de monitoramento e os aterros experimentais possuem um total de 24 piezômetros elétricos, 24 marcos superficiais, 9 poços de monitoramento e medidores de vazão.

### **5.6 FECHAMENTO DO DEPÓSITO DRS1**

O “Manual de Planejamento de Implantação e Operação” relativo ao Projeto de Reabilitação do DRS1, elaborado pela LPS em 14/12/18, doc. OM-8400-54-G-069 R01, apresenta a reabilitação do DRS1. Este processo engloba:

- uma camada de conformação com resíduo do filtro prensa densificado assente sobre perfil estabilizado da superfície do depósito;
- uma camada de areia ou geossintético drenante de bloqueio/ sistema de drenagem subsuperficial;

**AValiação DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

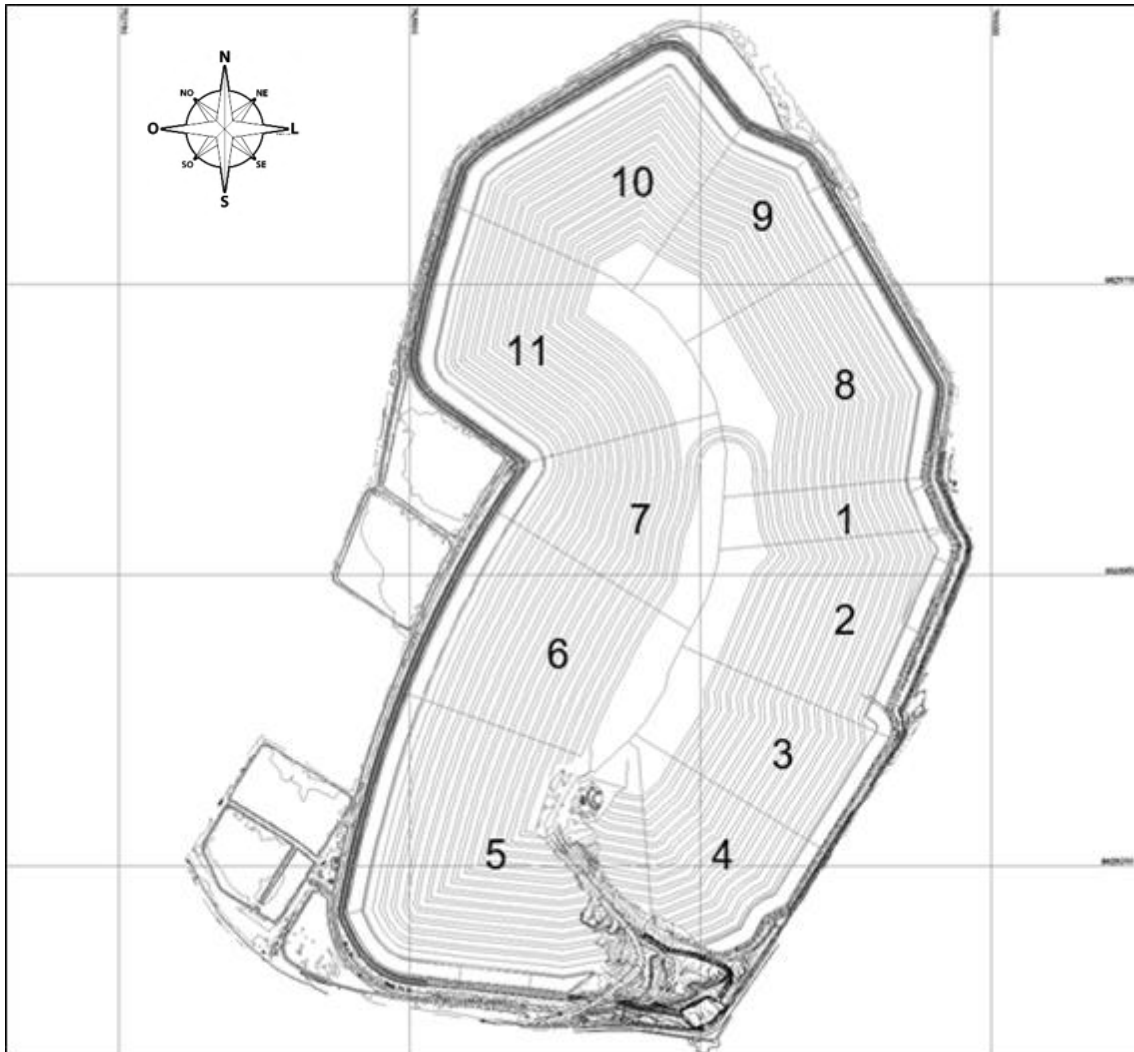
- duas camadas de solo, sendo a primeira de cobertura com solo local com espessura média de 60cm e a segunda camada de solo vegetal com 20cm de espessura;
- sistema de drenagem superficial definitivo, destinado à captação e coleta dos escoamentos de água de chuva e posterior encaminhamento para os canais periféricos limpos a serem construídos;
- sistema de drenagem subsuperficial robusto em cascalho e tubos drenantes na região do buffer, que se apoia sobre geotêxtil tecido sobre resíduo escavado e é sobreposta por uma camada de cobertura final de geotêxtil não tecido e geomembrana de PEAD.

A reabilitação prevista contempla 11 faixas entre o topo do depósito e a crista do dique periférico, conforme pode ser observado na Figura 5.7. A reabilitação foi iniciada pela Faixa 2, localizada no Setor Sul (Faixa 1 a 4), cujo término de operação ocorreu em 2009.

Na sequência, será realizada a reabilitação do Setor Norte (Faixas 5 e 6), cujo término de operação foi em 2007. Após o preenchimento da Faixa 6, será realizado o preenchimento horizontal da CL3, iniciando desde o fundo da célula até a cota 20,00 m e prosseguindo, ainda horizontalmente, no trecho sobre a área da CL3 para conformar os taludes, em forma de cone, até que seja atingida a cota do platô. As fases finais de reabilitação comportam as faixas 7, 8, 9, 10 e 11, sendo as faixas 7 e 8 executadas em trecho de transição para as áreas de reabilitação sobre a CL3, já preenchida e conformada em taludes.

O projeto prevê a implantação da camada de conformação em faixas do topo até a crista de dique de partida, de forma a evitar erosões e retrabalhos. Estes sub-trechos (faixas) possuem largura variável, conforme volume de destinação de resíduos de filtro prensa ao DRS1 por ano.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 5.7 – Faixas de reabilitação do DRS1 (Doc. OM-8400-54-G-069 R01)**

A Figura 5.8 apresenta a situação da FAIXA 2 (Vide Figura 5.7), em processo reabilitação, durante visita técnica de campo realizada pela FONNTES no dia 09/02/2022.





**Figura 5.8 – Vista da FAIXA 2 no DRS1 em processo de reabilitação (Fonte: Visita Técnica realizada em 09/02/2022)**

O projeto pressupõe que após o término da reabilitação de cada faixa, inclusa área de buffer, todo deflúvio seguira para caixa de passagem instrumentada, estando dentro dos parâmetros físico químicos CONAMA, seguirão através de uma comporta automática para uma segunda caixa onde os parâmetros definidos são novamente medidos e confirmando a conformidade poderão ser enviados ao corpo receptor, meio ambiente (após licença da SEMAS), em qualquer situação de desvio serão lançados no canal periférico que segue para tratamento na estação de tratamento de efluentes.

## **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

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

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 O)**, objeto desse relatório, e reproduzida a seguir na íntegra:

*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.*

Em função das características específicas do DRS1, foi necessário analisar separadamente cada célula de disposição de resíduos sólidos do DRS1. Dessa forma, a metodologia acima apresentada foi aplicada conforme cada célula analisada.

## 7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

### 7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As geomembranas são membranas poliméricas flexíveis que apresentam permeabilidade extremamente baixas (da ordem de  $10^{-12}$  cm/s), indicadas para impermeabilização dos depósitos de resíduo de bauxita, conforme Manual Brasileiro de Geossintéticos (VERTEMATTI, 2015), servindo como barreiras de líquidos e vapores e por consequência protegendo eventuais contaminações do solo e água.

Pelo fato de o DRS1 ser uma estrutura mais antiga, com mais de 30 anos, tendo passado por diferentes normativos de aplicação e controle de qualidade da impermeabilização por geomembrana, o histórico do controle tecnológico de instalação de cada célula construída em diversos períodos apresenta diferentes níveis de detalhe e profundidade. As células mais antigas dispõem de menos registros históricos, tais como documento *As Built*, ensaios destrutivos e não destrutivos, enquanto as células mais novas apresentam com maior nível de detalhes das especificações técnicas do material aplicado e os testes de avaliação da qualidade de soldas e reparos realizados durante a instalação.

Neste sentido, é importante contextualizar e esclarecer que durante toda década de 90 o tema técnico relacionado aos geossintéticos ainda era incipiente no Brasil, principalmente em termos de normatização. No início dos anos 2000 iniciaram os grupos de trabalho da ABNT para publicação das primeiras normas brasileiras relacionadas ao tema. As obras àquela época acabavam por adotar normas de outros países como referência. Ainda hoje, há muito o que ser desenvolvido, tanto em termos de estudos técnicos como normatização no Brasil. Logo, a não existência ou limitação de dados mais antigos em estruturas desse tipo acaba sendo algo comum no Brasil. A eficiência da estanqueidade da geomembrana nesses casos é avaliada de forma indireta, através do acompanhamento da instrumentação e qualidade da água dos poços ambientais.

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

A primeira norma brasileira que trata de instalação de geomembranas poliméricas foi a ABNT NBR 16.199, válida a partir de agosto de 2013. A mesma norma apresentou sua segunda edição publicada em março de 2020. Antes delas, era comum se usar no Brasil os padrões internacionais estabelecidos pela *American Society for Testing and Materials*, quais sejam:

- i. ASTM D 4545 (1986) “Standard Practice for Determining the Integrity of Factory Seams Used in Joining Manufactured Flexible Sheet Geomembranes”

Estabelece práticas padrões para determinação da integridade de soldas fabricadas para junção de painéis de geomembranas flexíveis manufaturadas.

- ii. ASTM D 4437 (1999) “Standard Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes”

Estabelece práticas padrões para determinação da integridade de soldas usadas para junção de painéis de geomembranas poliméricas.

- iii. ASTM D 6392 (1999): “Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams produced using Thermo-Fusion Methods”

Estabelece metodologia de teste padrão para determinação da integridade de soldas de geomembranas não reforçadas pelos métodos de termo fusão.

- iv. ASTM D 6693 (2001): “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes”

Estabelece metodologia de teste padrão para determinação de propriedades de tração de geomembranas de polietileno e polipropileno não reforçadas.

O projeto mais antigo do DRS1 que trata da aplicação de geocélula identificado durante a auditoria é o "Design criteria\_Area 54" (doc. CD-BALN-54-P-002), elaborado pela ALCAN INTERNATIONAL LIMITED, em junho de 1984. Este documento definiu critérios

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

iniciais para projetar o depósito de resíduos sólidos provenientes do beneficiamento da bauxita e já instruía que seriam necessários testes com o solo e com os resíduos para avaliar a necessidade de implantação de geomembranas impermeabilizantes sob o as células do DRS1.

Visando consolidar os registros históricos de aplicação de geomembrana sobre cada célula do DRS1 foi elaborada a Tabela 7.1, onde é apresentada a existência dos documentos, data de instalação da geomembrana em cada célula, empresa projetista e empresa executora.

Nos itens a seguir, são apresentados os documentos identificados de cada célula do DRS1 e no item final são apresentadas as análises e considerações da FONNTES.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**
**Tabela 7.1 – Registros históricos da geomembrana aplicada por célula/expansão do DRS1 identificados durante a elaboração da auditoria**

LOCAL	PERÍODO DE INSTALAÇÃO DA GEOMEMBRANA	EXISTÊNCIA DE PROJETO	EXISTÊNCIA DE AS BUILT	ESPECIFICAÇÕES DA GEOMEMBRANA	ENSAIOS DESTRUTIVOS	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	EMPRESA PROJETISTA	EMPRESA EXECUTORA
Célula inicial	Janeiro/1994 <sup>1</sup>	Sim	N.I.	Sim <sup>2</sup>	N.I.	N.I.	LPS Consultoria e Engenharia	NORSAN Impermeabilização e comércio LTDA
Célula 1 (expansão 1)	1996	Sim	N.I.	Sim <sup>2</sup>	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 2 (expansão 2)	1996	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 3 (expansão 3)	1997	Sim	N.I.	Sim <sup>2</sup>	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 4 (expansão 4)	1998	Sim	N.I.	Sim	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 5 (expansão 5)	1999	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula 6 (expansão 6)	2001	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	JC - TOPOGRAFIA
Célula 7 (expansão 7)	2002	Sim	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	ALUNORTE	N.I.
Célula Sul	2007 a 2008	Sim	N.I.	Sim	N.I.	N.I.	Pimenta de Ávila Consultoria	RECORD ENGENHARIA
CL1	2009 a 2010	Sim	Sim	Sim	N.I.	Sim	Pimenta de Ávila Consultoria	MS TERRAPLANAGEM
CL2	2011 a 2012	Sim	N.I.	Sim <sup>1</sup>	N.I.	N.I.	Pimenta de Ávila Consultoria	N.I.
CL3	2013 a 2014	Sim	Sim	Sim	N.I.	Sim	Pimenta de Ávila Consultoria	MELO Equipamentos e Serviços de Construção

N.I. = Documento Não Identificado

<sup>1</sup>Data referente a disponibilização do projeto "para compra"

<sup>2</sup> A especificação da geomembrana identificada dessas células diz respeito a espessura e o material utilizado.

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

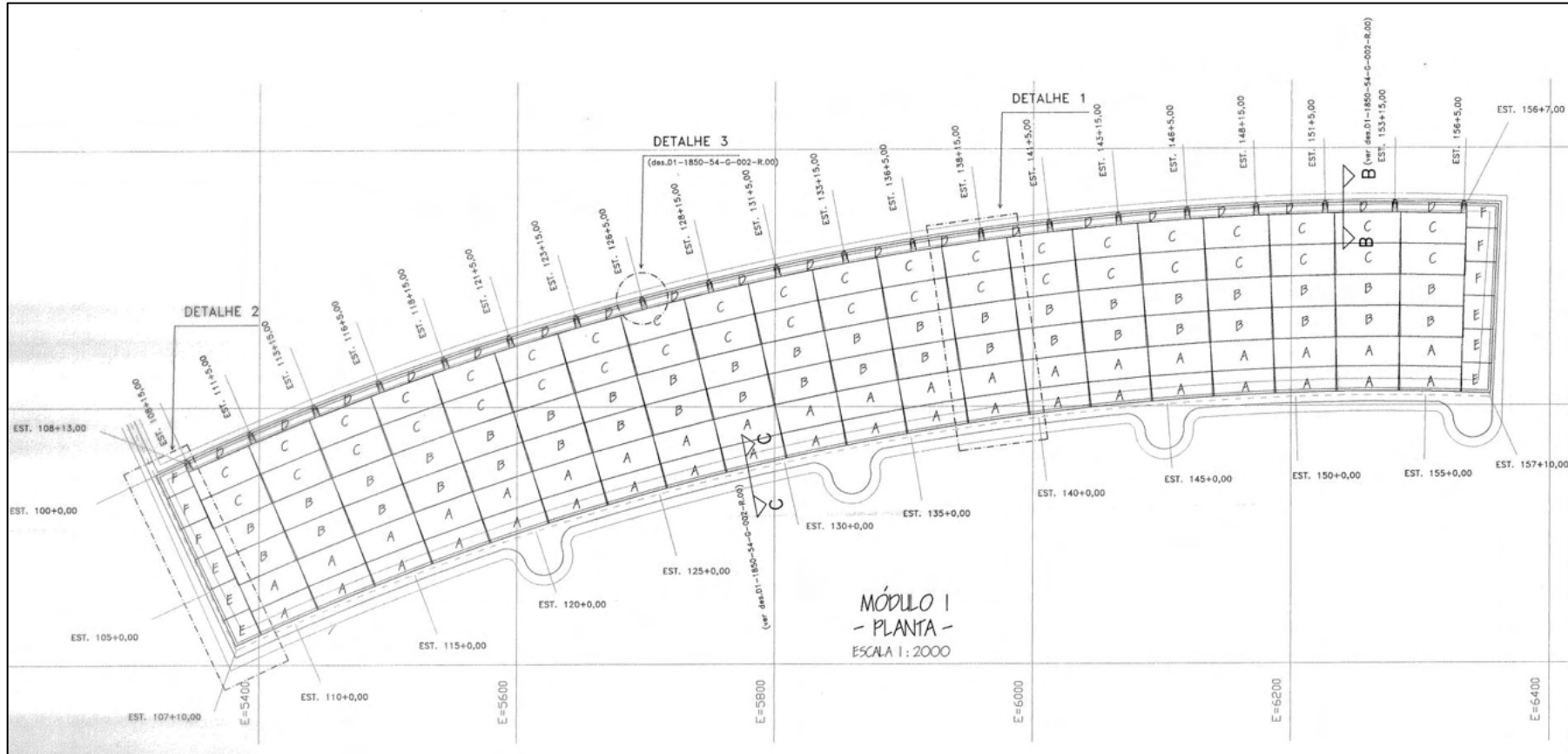
## 7.2 CÉLULA INICIAL

Em relação à célula inicial, conforme projeto original “1ª etapa alternativa ‘C’ – Transporte por Caminhões – Planta, Cortes e Detalhes” elaborado pela ALUNORTE (doc. D0-1000-54-G-015 1) emitido em 24/03/1993, foi prevista camada de 50 cm de material terroso local compactado a 100% do Proctor Normal, premissa a qual garantiria a estanqueidade compatível com os valores indicados em ensaios de permeabilidade realizados. Por outro lado, o projeto "Critérios para projeto da área de rejeitos sólidos - Área 54", documento CD-1000-54-H-002, elaborado pela ALUNORTE, emitido "para construção" em 25/03/1993, indicou como critério de projeto o revestimento com manta impermeabilizante de "PVC" com 1 milímetro de espessura para a bacia de Controle inicial do DRS1. Além disso, também foi identificada a planta com a localização dos painéis de geomembrana sintética aplicada sob o reservatório, elaborada pela LPS Engenharia e Consultoria em 1994 (Doc. D1-1850-54-G-001 1).

Conforme projeto emitido “para compra”, intitulado “Impermeabilização com membrana sintética Plantas” (doc. D1-1850-54-G-001 1), emitido em 17/01/1994, foram utilizados 249 painéis de geomembrana, totalizando área total de 188.546,40 m<sup>2</sup> de área impermeabilizada sobre a célula inicial do DRS1 e sua bacia de controle. A planta desses painéis pode ser vista na Figura 7.1.

Ainda para a célula inicial, o desenho "Impermeabilização com membrana PEAD área 54A", elaborado pela ENGEPOL S.A. e executado pela NORSAN Impermeabilização e comércio LTDA (documentos D1-12894-G-001 1-12314 e D1-12894-G-001 1-12315), datados de 15/09/1994, apresentam a implantação de geomembrana PEAD 0,8mm sob a célula inicial do DRS1, bem como alguns detalhes construtivos da implantação do material (Figura 7.2).

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.1 – Painéis de geomembrana aplicada sobre a célula inicial do DRS1 (adaptado de D1-1850-54-G-001 1)**



AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

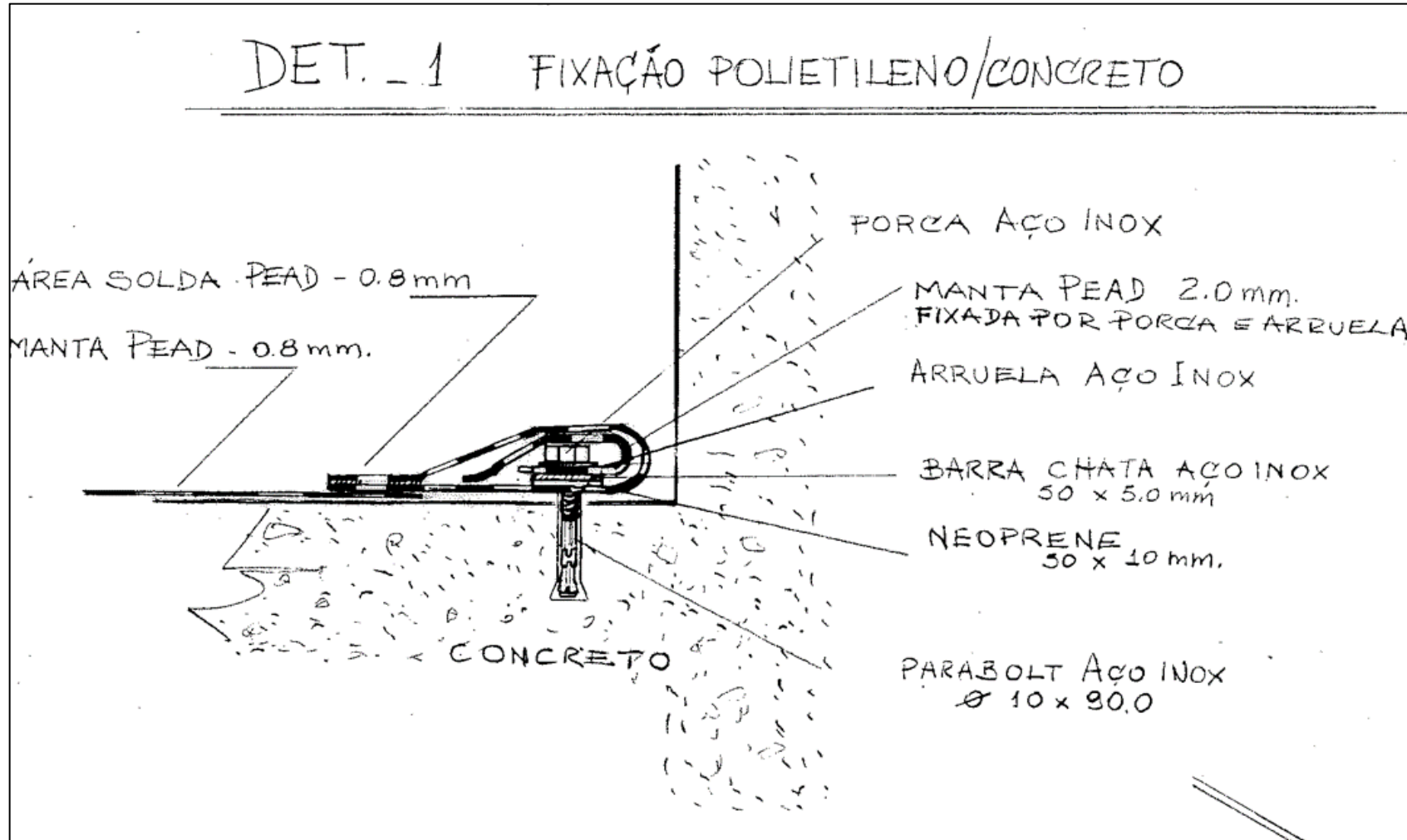


Figura 7.2 – Detalhes construtivos e especificações do material de impermeabilização usado na célula inicial do DRS1 (adaptado de D1-12894-G-001 1-12314)

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
<b>AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1</b>		

### **7.3 CÉLULA 1 (EXPANSÃO 1)**

Em relação à célula 1 (primeira expansão) do DRS1, o Memorial Descritivo da 1ª expansão DRS1, emitido para a secretaria de meio ambiente do Pará em julho de 1996, sob o código CI-RAE-086/96, indica a aplicação de geomembrana PEAD sobre a célula (Figura 7.3). Ainda para a célula 1, o desenho DI-3000-54-G-002, apresenta planta, seção e detalhes da aplicação da geomembrana PEAD 0,8mm sobre a célula 1 e canais de drenagem (Figura 7.4)

AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

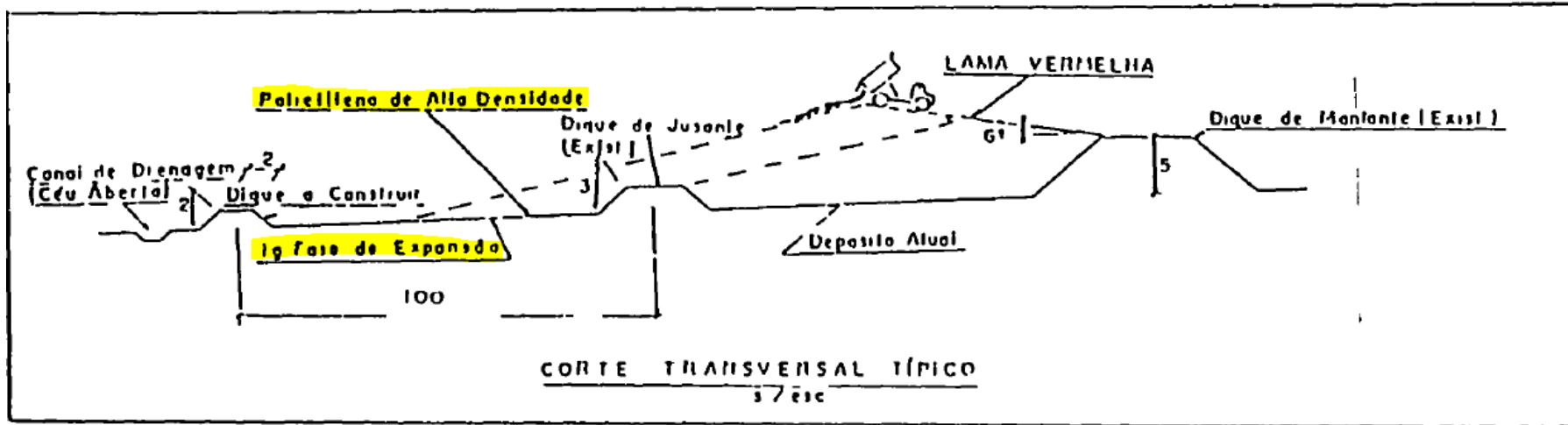


Figura 7.3 – Vista em perfil da 1ª fase de expansão do DRS1, com destaque para a utilização de PEAD como material de impermeabilização (adaptado de CI-RAE-086/96)

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

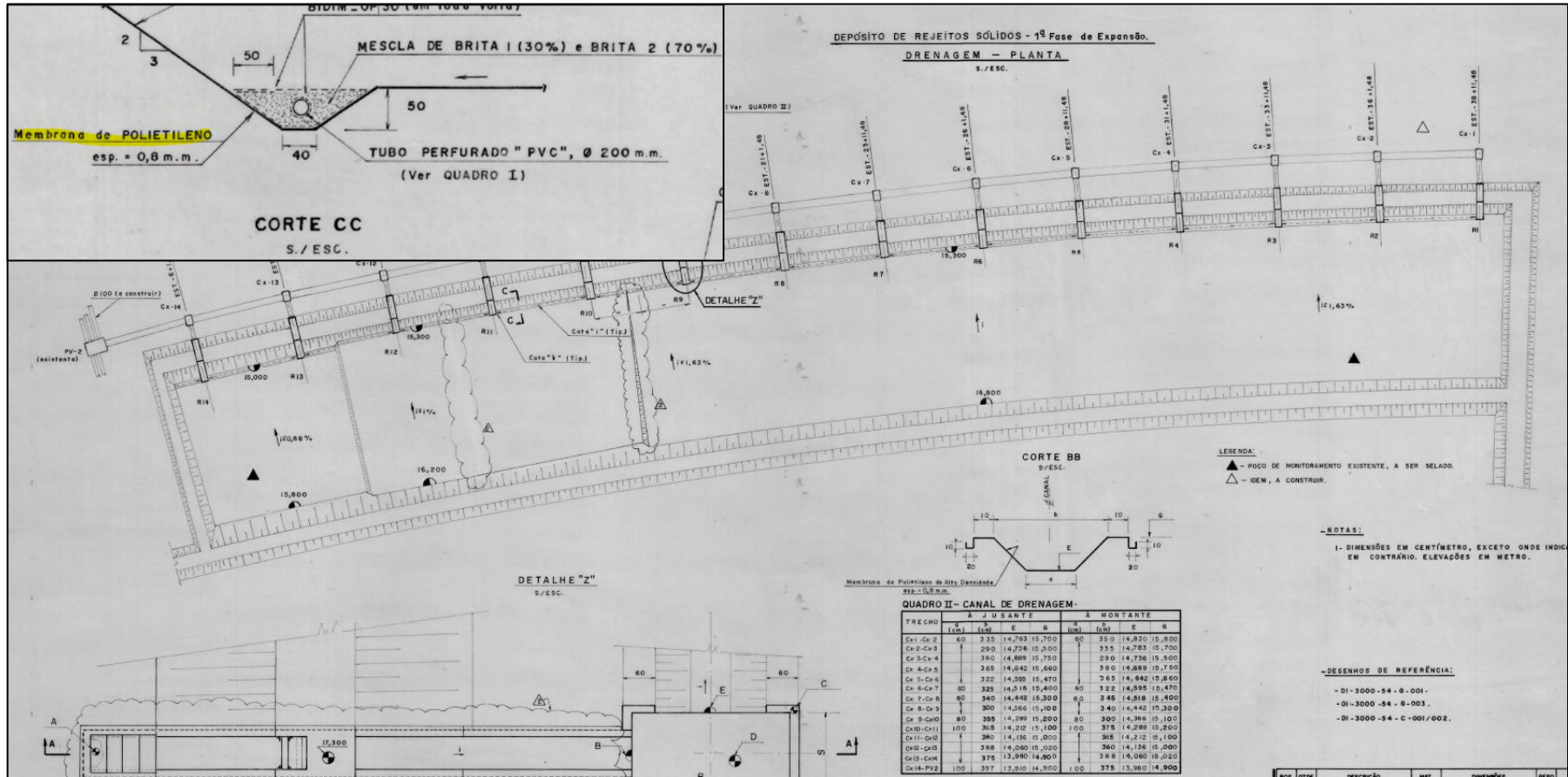


Figura 7.4 – Adaptado de Planta e seções da 1ª fase de expansão DRS1 (D1\_3000\_54\_G\_002\_02\_AREA 54A)

#### **7.4 CÉLULA 2, 3 E 4 (EXPANSÃO 2, 3 E 4)**

O projeto de drenagem da célula 2 (documento D1\_3000\_54\_G\_011\_00\_AREA 54A), elaborado pela ALUNORTE em novembro de 1996, indica a utilização de geomembrana para impermeabilização das estruturas propostas (Figura 7.5) e o projeto de drenagem da célula 3 (documento D1\_3000\_54\_G\_036\_00\_AREA 54A), elaborado pela ALUNORTE em abril de 1997, indica a utilização de geomembrana com espessura de 0,75mm para impermeabilização das estruturas propostas (Figura 7.6).

Em relação à célula 4 (expansão 4), seu projeto de drenagem (documento D1-3000-54-G-117 1), elaborado pela ALUNORTE em julho de 1998, indica a utilização de geomembrana de 0,75mm de espessura para impermeabilização do depósito (Figura 7.7).

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

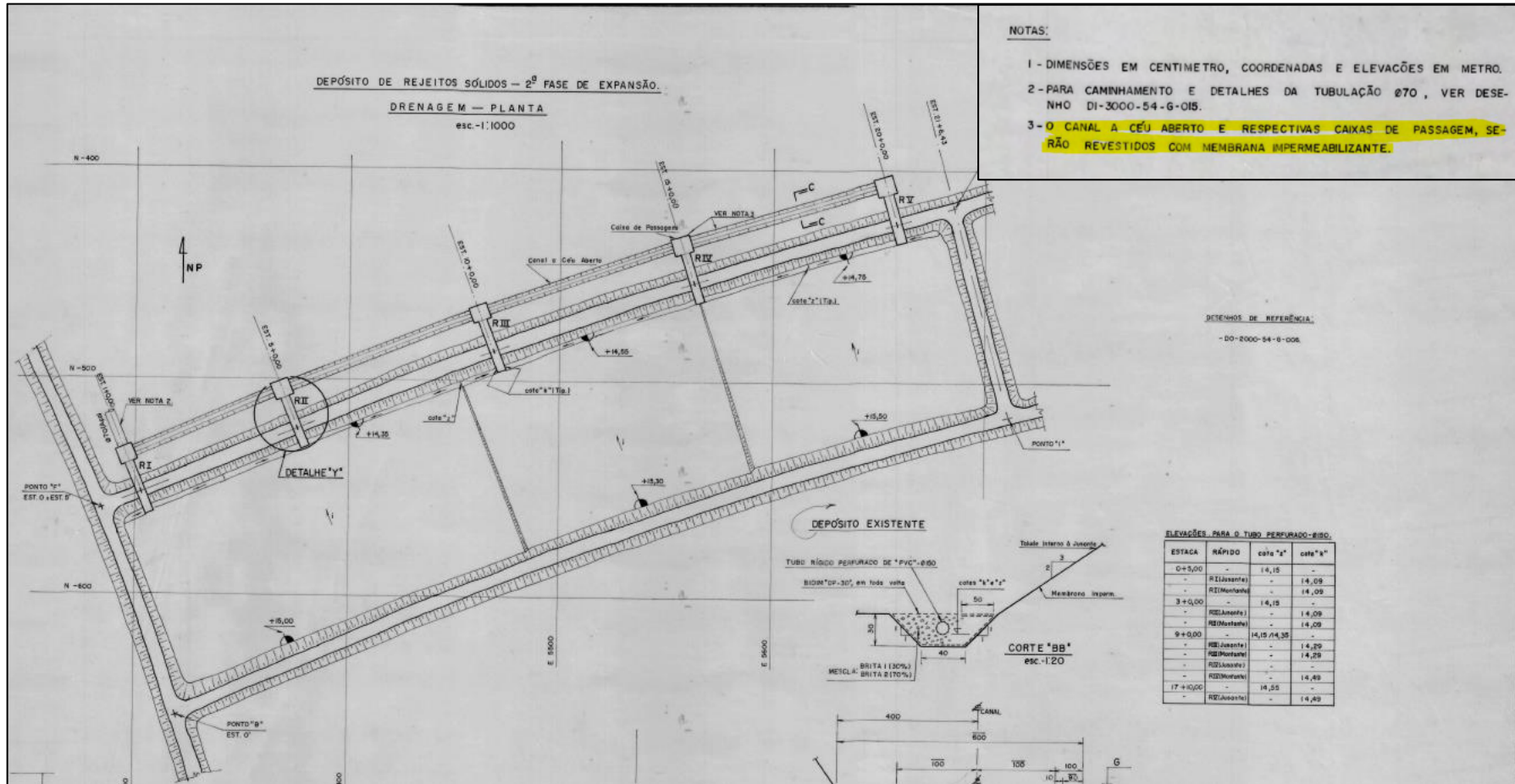


Figura 7.5– Adaptado de Planta e seções do projeto de drenagem da 2ª fase de expansão DRS1 (D1\_3000\_54\_G\_011\_00\_AREA 54ª)

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

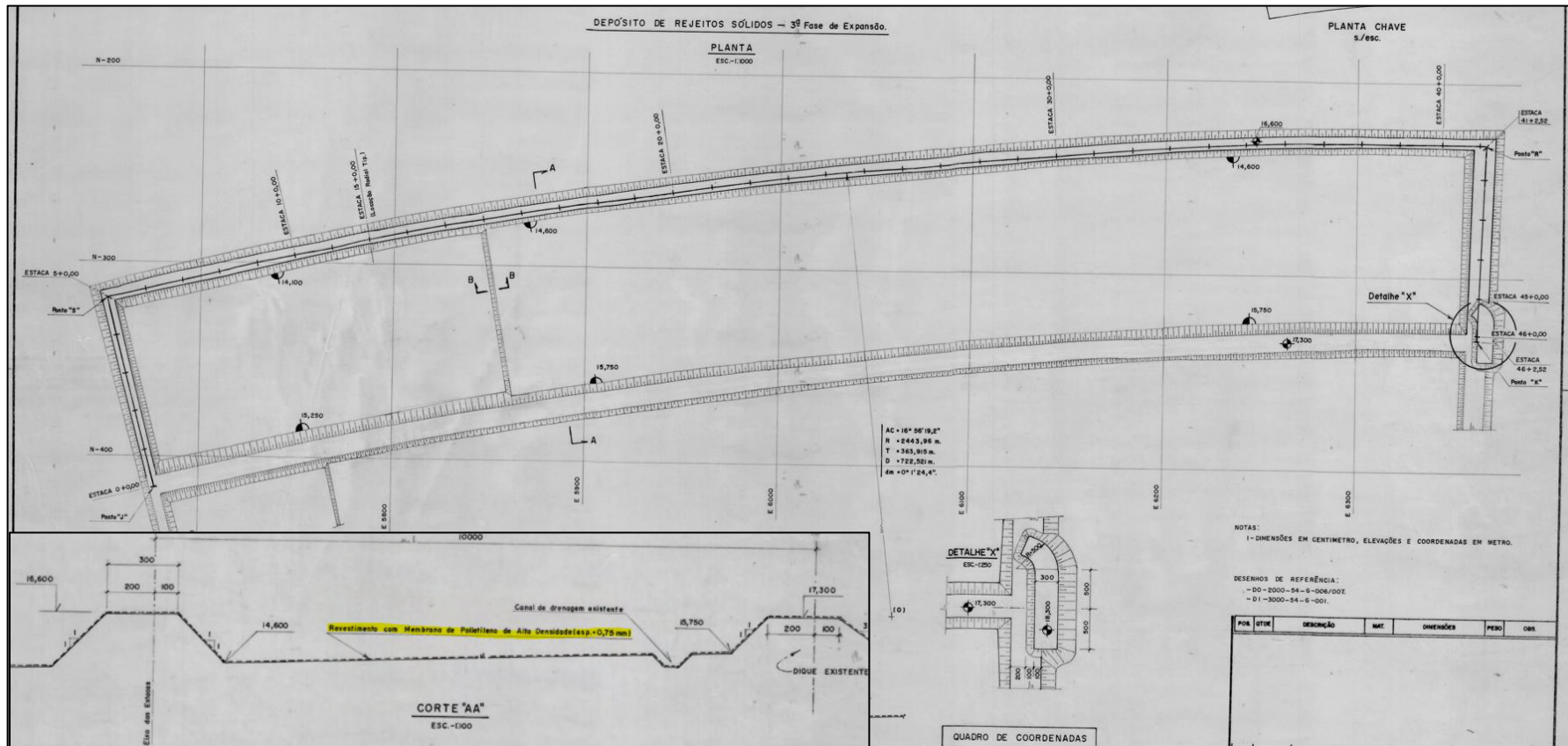
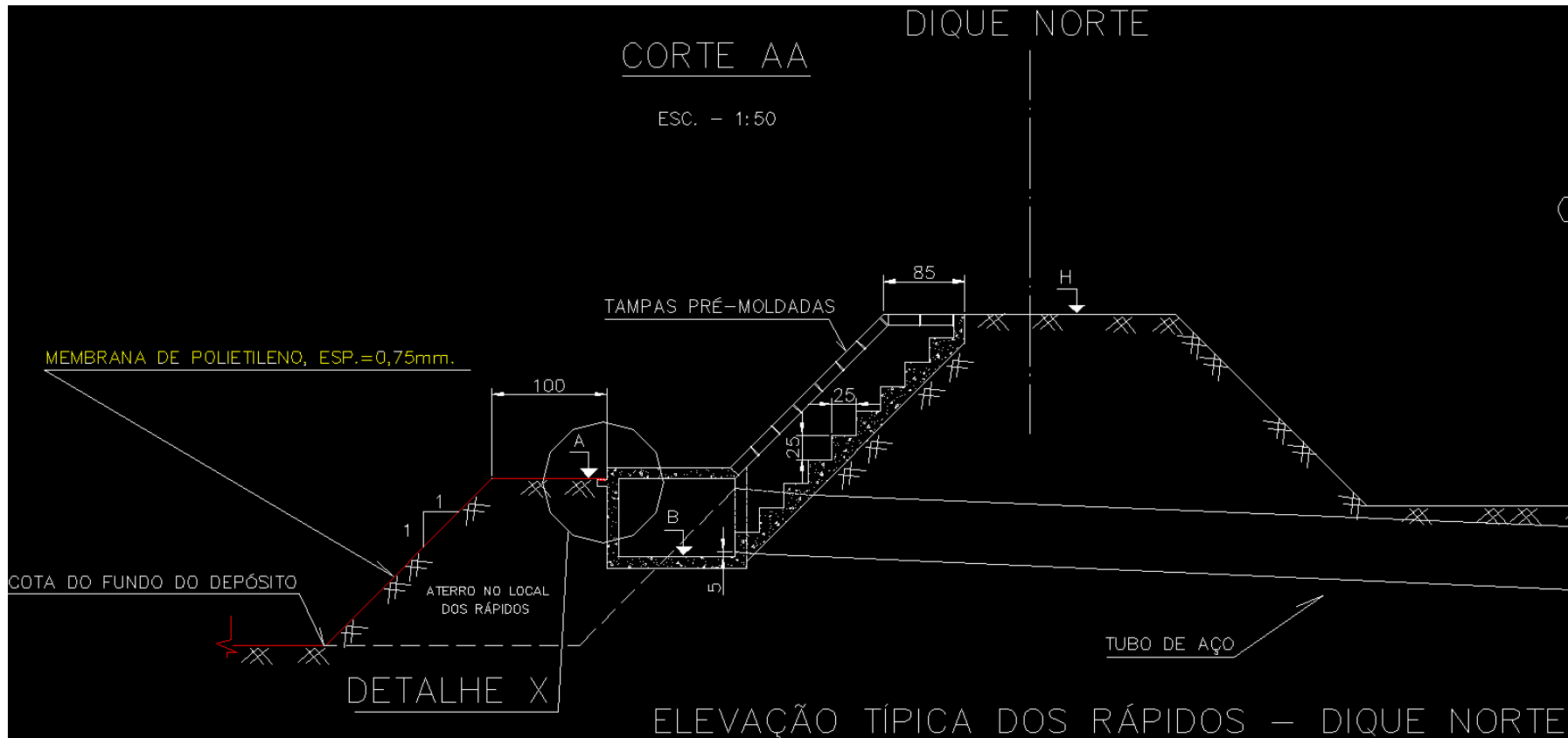


Figura 7.6 – Planta e seções do projeto de drenagem da 3ª fase de expansão DRS1. (Adaptado de D1\_3000\_54\_G\_036\_00\_AREA 54A)

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



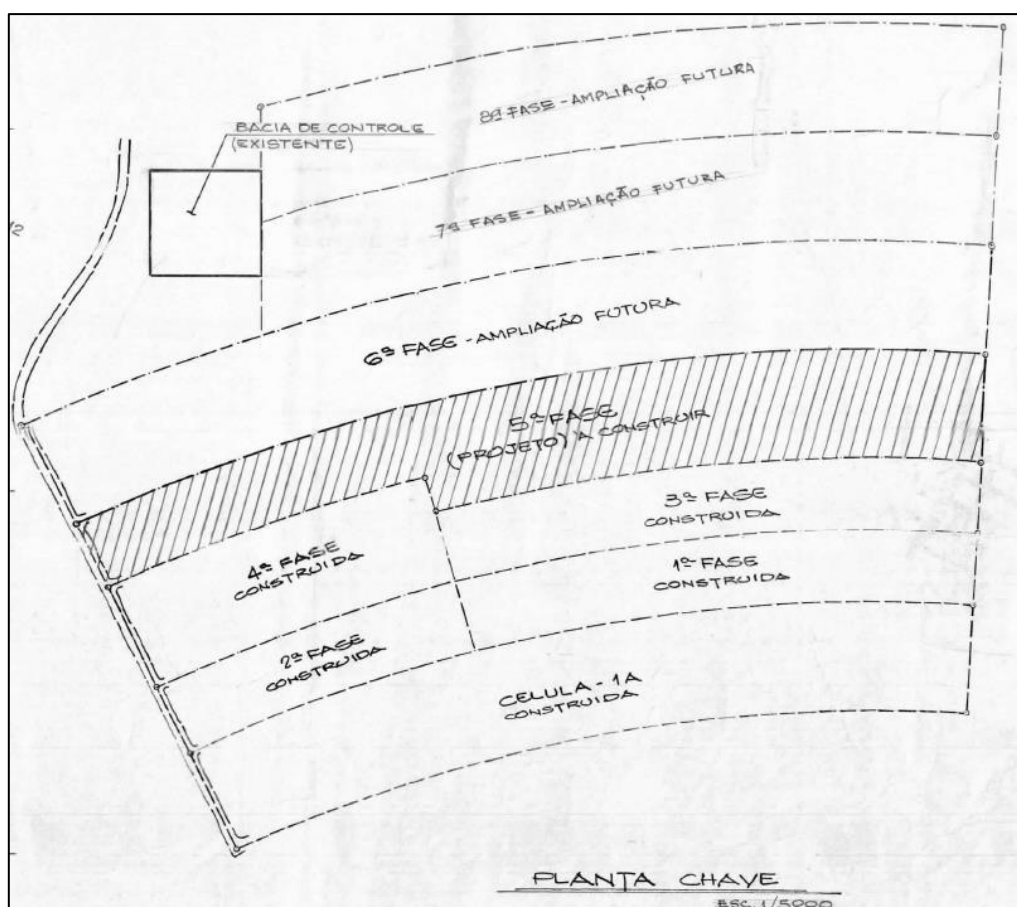
**Figura 7.7 – Seção do projeto de drenagem da 4ª fase de expansão do DRS1 (Adaptado de D1-3000-54-G-117 1)**



### 7.5 CÉLULA 5, 6 E 7 (EXPANSÕES 5, 6 E 7)

O memorial descritivo da 5ª fase de expansão do DRS1 (documento MD-3000-54-G-001), elaborado pela ALUNORTE em junho de 1999, indica a utilização de geomembrana para impermeabilização das estruturas propostas, na quantidade de 213.000 m<sup>2</sup> de material, todavia, não foi identificado a espessura do polietileno de alta densidade utilizado.

Em complementação, o projeto planialtimétrico da 5ª fase de expansão – cél. 5 (doc. D0-3000-54-G-122 001), elaborado pela ALUNORTE em maio de 1999, apresenta as células já construídas e previstas para serem implementadas nessa data (Figura 7.8).



**Figura 7.8 – Planta das células implantadas e previstas a serem implantadas em maio de 1999 (adaptado de D0-3000-54-G-122 001)**

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

Em relação à 6ª expansão do DRS1, o DESENHO DX-3500-54-C-018 1, elaborado pela JC Topografia em julho de 2001, apresenta locação da bacia e rápidos existentes na célula 6, e indica a aplicação da geomembrana PEAD como material impermeabilizante. Todavia, não é possível identificar a espessura do material utilizado.

No caso da 7ª expansão do DRS1, o desenho D1-3500-54-C-027 1, elaborado pela JC Topografia em agosto de 2002, apresenta a planta, cortes e locação dos diques da célula 7, bem como indica a aplicação da geomembrana PEAD como material impermeabilizante. Igualmente, não é possível identificar a espessura do material utilizado.

## **7.6 CÉLULA SUL**

### **7.6.1 Aplicação, instalação e soldagem da geomembrana PEAD**

Foi disponibilizado a FONNTES o Relatório *As Built* da Impermeabilização da Célula Sul do DRS1, realizado pela RECORD ENGENHARIA em março e abril de 2008, que apresenta registros fotográficos das obras de aplicação, instalação e soldagem da geomembrana PEAD.

A Figura 7.9 a Figura 7.17 apresentam uma seleção de fotografias das obras de impermeabilização da Célula Sul do DRS1, incluindo a retirada de amostras de Geomembrana PEAD para avaliação em laboratório, a execução de solda por extrusão, de testes para verificação da qualidade da solda e a execução de solda dupla a cunha quente.

Em complementação, os desenhos D1-3310-54-L-001 001 R00 e D1-3310-54-L-001 002 R00, elaborados pela JC - TOPOGRAFIA apresentam o levantamento topográfico "Como construído" da célula sul após sua implantação.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.9 – Retirada de Amostra da Geomembrana da célula antiga para Avaliação no Laboratório da ENGEPOL – Jul/2007 – Célula Sul (RECORD, 2008)**



**Figura 7.10 – Limpeza da Geomembrana para realização de Solda por Extrusão – Célula Sul (RECORD, 2008)**

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.11 – Proteção do Muro com Geotêxtil e alinhamento da Geomembrana para confecção da Solda – Célula Sul (RECORD, 2008)**



**Figura 7.12 – Solda da Geomembrana Velha com a Nova por Extrusão – Célula Sul (RECORD, 2008)**

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.13 – Teste para avaliação da qualidade da Solda – Célula Sul (RECORD, 2008)**



**Figura 7.14 – Envolvimento do muro com geotêtil para proteção da Geomembrana – Célula Sul (RECORD, 2008)**

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1



**Figura 7.15 – Solda da geomembrana Velha com a Nova (Solda dupla a cunha Quente) para confecção da espera, ou seja, Geomembrana de transição que facilitará a soldagem com outro painel de maior dimensão – Célula Sul (RECORD, 2008)**



**Figura 7.16 – Área Principal da Célula Sul com aproximadamente 110.000m<sup>2</sup> de geomembrana PEAD aplicados. Foto do dia 05/12/07 (RECORD, 2008)**



**Figura 7.17 – Obra de impermeabilização da Célula Sul finalizada – março/2008 (RECORD, 2008)**

		<b>AUDITORIA DE SEGURANÇA</b>
AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1		

#### 7.6.2 Certificação das geomembranas

Foram disponibilizados certificados de qualidade para geomembranas PEAD elaborados pela ENGEPOL LTDA, especialmente os documentos de número 164, 165, 166, 167, 172, 173, 359, 360, 361, 362, 363, 365, 366 e 367. O certificado 365 é replicado na Figura 7.18 como exemplo. Entende-se que essas bobinas foram aplicadas sobre a Célula Sul do DRS1 pela RECORD ENGENHARIA em março e abril de 2008. Todavia, nos documentos da RECORD ENGENHARIA não foi identificado o número do lote ou da bobina utilizada nessa ocasião, o que dificultou a conferência.



	Certificado de Qualidade para Geomembranas de Polietileno de Alta Densidade Polimanta®	RPCQ 21 Página 1 de 1		
				
Cliente: Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S/A	Número da Nota Fiscal: 10372			
Tipo de Geomembrana: GEO1,00AD	Certificado N°: 365			
Lote: M 074/2003 e M076/2003				
<p>A Engepol Ltda. certifica as propriedades dos Lotes de Geomembrana Polimanta® de sua fabricação, conforme os valores descritos abaixo.</p>				
Propriedades da Geomembrana:				
Testes Realizados	Norma	Unidades	Especificado	Valor da carga
Espessura	ASTM D 5199	mm	nom ± 10%	1,02
Densidade	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	0,940	0,950
Tensão no Escoamento	ASTM D 638	kN/m	15,0	17,5
Tensão na Ruptura	ASTM D 638	kN/m	27,0	35,4
Alongamento no Escoamento	ASTM D 638	%	12	19,5
Alongamento na Ruptura	ASTM D 638	%	700	880,7
Resistência ao Rasgo	ASTM D 1004	N	125	148,1
Resistência à Perfuração	ASTM D 4833	N	320	470,0
Teor de Negro de Fumo	ASTM D 1603	%	2 a 3	2,5
Dispersão de Negro de Fumo	ASTM D 5596	categoria	1 e 2	1
Data: 24/10/03		Responsável: Clairton Muller		
Elaborado: 24/08/2001		Aprovado: 27/08/2001		Revisão: 00 Válido a partir de 20/01/2003

Figura 7.18 – Certificado nº 365 para geomembranas de PEAD – ENGEPOL LTDA (2001)



### 7.7 CÉLULA LESTE 1 (CL1)

Conforme Especificações Técnicas de Construção (11.ES-3540-54-G-813 001), elaborada pela PIMENTA DE ÁVILA em abril de 2009, a impermeabilização da célula leste 1 ocorreria com painéis de geomembrana, sob revisão sistemática dos trechos soldados a cada 10 a 15 m, através de inspeção visual e manual, efetuando correções eventualmente necessárias. Também foi exigido que a qualidade das geomembranas fossem atestadas pelo fabricante com base nos requisitos da norma internacional IGSR GM 13 – GRI.

O relatório técnico “*As Built*” da construção da célula Leste 1 (RT-3540-54-G-002) elaborado pela PIMENTA DE ÁVILA em setembro de 2010, mostra as obras realizadas para implantação da CL1, canal de contorno e bacias de controle, bem como a camada de impermeabilização por geomembrana PEAD de 1,0mm. Também pode ser visto a execução de testes para detecção de vazamentos na geomembrana. A Figura 7.19, Figura 7.20 e Figura 7.21 são registros desse documento e ilustram a aplicação da geomembrana e testes executados em campo para verificação de sua eficácia na impermeabilização. Todavia, não foi identificado nos documentos testes destrutivos realizados em laboratório para verificação das soldas da geomembrana.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.19– CL1: Execução de testes para detecção de vazamentos na geomembrana**



**Figura 7.20 – CL1: Aplicação de geomembrana no interior do reservatório**



**Figura 7.21 – CL1: Detalhe da manutenção devido ao comprometimento físico da geomembrana – parede leste**

## **7.8 CÉLULA LESTE 2 (CL2)**

O memorial descritivo da célula leste – CL2 e CL3 (documento MD-3540-54-G-091), elaborado pela Pimenta de Ávila em julho de 2010, indica que as células, canais e bacias devem ser revestidas em geomembrana PEAD com 1 mm de espessura. No mesmo documento instrui que nas áreas de aplicação da geomembrana, deve ser lançada uma camada de areia com 7 cm de espessura se durante os serviços fosse identificado material granular com potencial de perfurar a geomembrana. Não foi identificado documento *As Built* da aplicação da geomembrana sob a CL2 e suas estruturas auxiliares, tampouco ensaios destrutivos e não destrutivos e verificação das soldas dos materiais utilizados em sua impermeabilização.

## 7.9 CÉLULA LESTE 3 (CL3)

A célula Leste 3 é a célula com o maior volume de dados relativos à impermeabilização disponíveis. Nos itens a seguir são descritos os documentos identificados durante a presente auditoria.

### 7.9.1 Especificações técnicas construtivas

A Especificação Técnica de Recebimento, Aceitação e Instalação do Sistema de Impermeabilização da CL3, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 10/05/2012, doc. ES-3540-54-G-222, define as condições e critérios a serem seguidos na instalação das geomembranas de PEAD - Polietileno de Alta Densidade – lisas, para o sistema simples de barreira impermeabilizante da Célula Leste CL3 e estruturas associadas.

O documento indica que se deve seguir as recomendações da publicação IGSR GM 01/03, na qual as principais etapas da instalação são:

- a) Modulação dos painéis;
- b) Recepção e armazenamento das bobinas na obra;
- c) Preparação da superfície de apoio;
- d) Colocação da geomembrana e a soldagem dos painéis;
- e) Ensaio das soldas;
- f) Verificação da estanqueidade global da geomembrana instalada;
- g) Registro, em forma de relatórios de toda a sequência executiva da instalação;
- h) Registro em planilhas da execução das soldas, dos ensaios não destrutivos e destrutivos, da localização dos reparos e das interferências.

As emendas na Geomembrana PEAD devem ser realizadas através das soldagens dos painéis, na qual:

- a) As soldas devem ser executadas na direção da inclinação do talude;
- b) Nos cantos e locais de geometria irregular, o número de soldas deve ser minimizado;

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

- c) Não devem ser realizadas soldas horizontais ao longo do talude. Caso seja inevitável, não é recomendado que a solda esteja localizada na parte superior do talude e nem a uma distância menor que 15 cm do seu pé. No fundo, a solda deve estar a uma distância superior a 1,50 m do pé do talude;
- d) O aproveitamento das sobras de bobinas de geomembrana não é permitido, exceto quando previstas na modulação dos painéis;
- e) Antes da execução das soldas, os trespasses devem estar limpos e isentos de umidade;
- f) Os trespasses entre painéis a serem emendados devem ter dimensão compatível com o tipo de máquina, para soldas por termofusão, e serem maior ou igual a 7,5 cm para soldas por extrusão;
- g) Todo cruzamento de solda por termofusão deve ter um reforço com “manchão” que garanta a estanqueidade.

Para a avaliação das soldas, a especificação técnica, orienta que as máquinas de solda por termofusão e o processo de soldagem sejam testados imediatamente antes do início de cada jornada de trabalho (pela manhã e à tarde) e sempre que houver quaisquer mudanças nas condições do serviço (por exemplo, quando a máquina é desligada e esfria completamente) ou mudanças repentinas de temperatura ambiente, através de testes que avaliem as soldas executadas em tiras da geomembrana nas mesmas condições das soldas dos painéis. Os testes das soldas devem ser feitos em tiras de aproximadamente 1,0 m de comprimento por 0,30 m de largura, com a solda centrada ao longo do comprimento.

Da tira soldada deve-se retirar dez corpos de prova, cinco para o ensaio de cisalhamento e cinco para o ensaio de descolamento. O ensaio deve ser realizado no tensiômetro de obra, devendo-se registrar a carga e a velocidade de ensaio. Estes corpos de prova deverão ter uma ruptura tipo FTB – *Film Tear Bond* (ruptura da geomembrana fora da solda) e, caso haja ruptura da solda, todo o teste deverá ser refeito. Quando durante a

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

soldagem por termofusão o trespassse apresentar rugas ou ondas, chamadas de “bocas de peixe”, estas devem ser cortadas de modo a tornar plana a área para passagem da máquina. Caso as áreas cortadas fiquem com trespassses inadequados, estes devem ser reparados através de um cordão de extrusão ou de um manchão, o que for mais adequado para o caso.

As soldas devem ter a estanqueidade verificada ao longo do seu comprimento, através de ensaios não destrutivos. Os ensaios de estanqueidade são os ensaios de pressurização, de vácuo e da faísca elétrica ou “*Spark test*” e devem ser realizados simultaneamente com os serviços de solda e consistem em avaliar se existem fissuras ou aberturas nas soldas da geomembrana implantada.

Também devem ser realizados ensaios destrutivos para avaliar estatisticamente a qualidade das soldas. A frequência de retirada de amostras indicada no documento ES-3540-54-G-222 pela PIMENTA DE AVILA (2012), para este ensaio, será a cada 150 metros lineares de solda, sempre no final da linha de solda. A dimensão das amostras deverá ser de 1,0 m de comprimento por 0,30 m de largura, com a solda centrada ao longo do comprimento. Além disso, os ensaios destrutivos devem seguir as recomendações das normas ASTM D 6392, ASTM D 6693, e GM19 (GRI), e atender a duas propriedades básicas de resistência: cisalhamento e descolamento.

#### 7.9.2 Ensaios não destrutivos

A HYDRO disponibilizou os Relatórios de Serviços de Impermeabilização com Manta PEAD do Depósito DRS1, referente às estruturas Célula Leste CL3 (fundo do reservatório e taludes internos e externos), Bacia de Controle BC5 e canal alargado (antiga BC7), Rápidos 5 e 11, junções e Canais de Contorno, elaborados pela empresa MELO Equipamentos e Serviços de Construção. Nestes relatórios são apresentados os registros de lançamento de geomembrana, solda de geomembrana, ensaios não destrutivos de

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**


pressurização e reparos referente aos meses de outubro, novembro e dezembro/2013 e janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro e novembro/2014.

A seguir é apresentado um breve resumo dos relatórios disponibilizados pela HYDRO:


**Outubro/2013:**

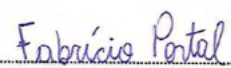
- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm no fundo e no talude da CL3B entre os dias 23/10/13 e 31/10/13 (ver exemplo de registro na Figura 7.22);
- Execução de 202 soldas em Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm com o equipamento COMET no fundo, no talude e na junção da CL3B entre os dias 21/10/13 e 31/10/13 (ver exemplo de registro na Figura 7.23);
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 23 pontos da CL3B entre os dias 29/10/13 e 31/10/13, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados (ver exemplo de registro na Figura 7.24).

**AValiação DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

 <b>CONTROLE DE LANÇAMENTO DE "GEOMEMBRANA"</b>							
<b>CONTRATANTE:</b> MELO CONSTRUTORA LTDA							
<b>CONTRATO:</b> LANÇAMENTO E INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA EM PEAD							
<b>LOCAL:</b> REFINARIA DA ALUNORTE EM BARCARENA-PA							
<b>ESPESSURA:</b> 1,50mm		<b>EQUIPOTO:</b> COMET		<b>IMPERMEABILIZADOR:</b> JOSUÉ DA CRUZ SILVA			
DATA	PAINEL Nº	BOBINA			ÁREA DO PAINEL (m <sup>2</sup> )	TOTAL INSTALADO (m <sup>2</sup> )	OBSERVAÇÃO
		Nº	COMP(m)	LARG (m)			
21/10/2013	1		100,00	5,90	590,00	590,00	FUNDO CL3B
21/10/2013	2		100,00	5,90	590,00	590,00	FUNDO CL3B
21/10/2013	3		100,00	5,90	590,00	590,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	4		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	5		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	6		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	7		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	8		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	9		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	10		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	11		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	12		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	13		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	14		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	15		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	16		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	17		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
22/10/2013	18		50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	19	161001	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	20	160948	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	21	160945	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	22	160929	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	23	161226	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	24	161011	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	25	160995	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
23/10/2013	26	160999	50,00	5,90	295,00	295,00	FUNDO CL3B
<b>TOTAL INSTALADO</b>						<b>8.555,00</b>	


  
 PEAD SOLDAS LTDA  
 IMPERMEABILIZADOR

  
 PEAD SOLDAS LTDA  
 IMPERMEABILIZADOR


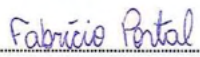
**Figura 7.22 – Exemplo de Controle de Lançamento de Geomembrana do DRS1 (MELO, 2013)**



**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

		<b>RELATÓRIO DE SOLDA</b>						
<b>CONTRATANTE:</b> MELO CONSTRUTORA LTDA								
<b>CONTRATO:</b> LANÇAMENTO E INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA EM PEAD								
<b>LOCAL:</b> REFINARIA DA ALUNORTE EM BARCARENA-PA								
<b>ESPESSURA:</b> 1,50mm							<b>EQUIPO:</b> COMET	
DATA	SOLDA Nº	INÍCIO (h)	VELOC (m / min)	PAINEL °C	EXTENSÃO (m)	PAINEL (Nº)	PAINEL (Nº)	OBSERVAÇÕES
21/10/2013	1	14:40	3,2	400	100,00	1	2	CL3B FUNDO
	2	15:41	3,2	400	100,00	2	3	CL3B FUNDO
22/10/2013	3	08:35	3,2	400	50,00	3	4	CL3B FUNDO
	4	08:40	3,2	400	50,00	4	5	CL3B FUNDO
	5	09:12	3,2	400	50,00	5	6	CL3B FUNDO
	6	09:30	3,2	400	50,00	6	7	CL3B FUNDO
	7	09:39	3,2	400	50,00	7	8	CL3B FUNDO
	8	10:06	3,2	400	50,00	8	9	CL3B FUNDO
	9	10:30	3,2	400	50,00	9	10	CL3B FUNDO
	10	10:57	3,2	400	50,00	10	11	CL3B FUNDO
	11	11:07	3,2	400	50,00	11	12	CL3B FUNDO
	12	11:20	3,2	400	50,00	12	13	CL3B FUNDO
	13	13:21	3,2	400	50,00	13	14	CL3B FUNDO
	14	13:45	3,2	400	50,00	14	15	CL3B FUNDO
	15	12:05	3,2	400	50,00	15	16	CL3B FUNDO
	16	16:25	3,2	400	50,00	16	17	CL3B FUNDO
17	16:48	3,2	400	50,00	17	18	CL3B FUNDO	
18	08:05	3,2	400	50,00	18	19	CL3B FUNDO	
19	08:28	3,2	400	50,00	19	20	CL3B FUNDO	
20	28:51	3,2	400	50,00	20	21	CL3B FUNDO	
21	09:16	3,2	400	50,00	21	22	CL3B FUNDO	
22	09:37	3,2	400	50,00	22	23	CL3B FUNDO	
23	09:50	3,2	400	50,00	23	24	CL3B FUNDO	
24	10:05	3,2	400	50,00	24	25	CL3B FUNDO	
25	10:18	3,2	400	50,00	25	26	CL3B FUNDO	
26	11:23	3,2	400	10,00	27	28	CL3B TALUDE	

 PEAD SOLDAS LTDA IMPERMEABILIZADOR	 PEAD SOLDAS LTDA IMPERMEABILIZADOR
--	---

**Figura 7.23 – Exemplo de Relatório de Solda de Geomembrana do DRS1 (MELO, 2013)**

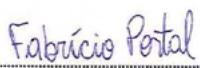
**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

DATA		HORA	EXTENSÃO (m)	PANO "A"	PANO "B"	PRESSÃO (Bar)	PERDA (Bar)	RESULTADO	OBSERVAÇÃO
29/out/2013		10:10	50,00	4	5	2,00	0,00	OK	CL3B
		10:15	50,00	5	6	2,00	0,00	OK	CL3B
		10:21	50,00	6	7	2,00	0,00	OK	CL3B
30/out/2013		14:42	50,00	7	8	2,00	0,00	OK	CL3B
		14:46	50,00	8	9	2,00	0,00	OK	CL3B
		14:52	50,00	9	10	2,00	0,00	OK	CL3B
		14:56	50,00	10	11	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:04	50,00	11	12	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:08	50,00	12	13	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:13	50,00	13	14	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:16	50,00	14	15	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:26	50,00	15	16	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:30	50,00	16	17	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:35	50,00	17	18	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:40	50,00	18	19	2,00	0,00	OK	CL3B
		15:45	50,00	19	20	2,00	0,00	OK	CL3B
31/out/2013		08:00	50,00	20	21	2,00	0,00	OK	CL3B
		08:05	50,00	21	22	2,00	0,00	OK	CL3B
		08:15	50,00	22	23	2,00	0,00	OK	CL3B
		08:22	50,00	23	24	2,00	0,00	OK	CL3B
		08:27	50,00	24	25	2,00	0,00	OK	CL3B
		08:35	50,00	25	26	2,00	0,00	OK	CL3B
		08:40	50,00	63	64	2,00	0,00	OK	CL3B

TESTES DE PRESSÃO						
ESP (mm)	BAR		PSI		kgf/cm <sup>2</sup>	
	PRESSÃO	QUEDA	PRESSÃO	QUEDA	PRESSÃO	QUEDA
1,00	2,05	0,28	29,70	4,06	2,09	0,29
1,50	2,05	0,21	29,70	3,05	2,09	0,21
2,00	2,05	0,14	29,70	2,03	2,09	0,14

 PEAD SOLDAS LTDA IMPERMEABILIZADOR	CONTRATANTE FISCAL DA OBRA
--	-------------------------------

**Figura 7.24 – Exemplo de Relatório de Ensaio Não Destrutivo de Pressurização do DRS1 (MELO, 2013)**

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**Novembro/2013:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm no fundo e no talude da CL3B entre os dias 01/11/13 e 30/11/13;
- Execução de 350 soldas em Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm com o equipamento COMET no fundo, no talude e na junção da CL3B entre os dias 01/10/13 e 30/11/13;
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 92 pontos da CL3B entre os dias 04/11/13 e 18/11/13, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados.

Dezembro/2013:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm no fundo e no talude da CL3B, da BC5 e BC7 entre os dias 01/12/13 e 31/12/13;
- Execução de 450 soldas em Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm com o equipamento COMET no fundo, no talude e na junção da CL3B e da BC5 e BC7 entre os dias 01/12/13 e 31/12/13;
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 193 pontos da CL3B e da BC5 e BC7 entre os dias 02/12/13 e 29/12/13, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados.

Janeiro/2014:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm no fundo e no talude da CL3B, da BC5 e BC7 e no canal da BC7 para a BC5 entre os dias 02/01/14 e 31/01/14;
- Execução de 330 soldas em Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm com o equipamento COMET no fundo, no talude e na junção da CL3B e da BC5 e BC7 e no canal da BC7 para a BC5 entre os dias 02/01/14 e 31/01/14;


## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 139 pontos da CL3B e da BC5 entre os dias 02/01/14 e 31/01/14, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados;
- Execução de reparos na geomembrana do fundo da BC5 e da CL3B em 30 pontos no dia 03/01/14 devido a danos mecânicos, através da execução de “manchão” e, na sequência, executando ensaio de vácuo (ver modelo de registro na Figura 7.25). Ressalta-se que não são especificados os eventuais choques mecânicos que causaram a necessidade dos reparos na geomembrana, porém sabe-se que podem ter sido causados pela exposição da geomembrana “antiga” para junção com a nova geomembrana.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

 <b>CONTROLE DE REPAROS</b>						
<b>CONTRATANTE:</b> MELO CONSTRUTORA LTDA						
<b>CONTRATO:</b> LANÇAMENTO E INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA EM PEAD						
<b>LOCAL:</b> REFINARIA DA ALUNORTE EM BARCARENA-PA						
<b>REVESTIMENTO:</b> GEOMEMBRANA PEAD		<b>ESPESSURA:</b> 1,50mm		<b>IMPERMEABILIZADOR:</b> JOSUÉ / VALECIR / FABRÍCIO		
DATA	REPARO Nº	DESCRIÇÃO DO DANO	PAINEL REPARADO	MÉTODO EMPREGADO	RESULTADO ENSAIO DE VÁCUO	OBSERVAÇÃO
03/01/2014	1	Mecânico	88	Manchão	OK	BC5 Fundo
	2	Mecânico	89	Manchão	OK	BC5 Fundo
	3	Mecânico	33	Manchão	OK	BC5 Fundo
	4	Mecânico	87	Manchão	OK	BC5 Fundo
	5	Mecânico	54	Manchão	OK	BC5 Fundo
	6	Mecânico	55	Manchão	OK	BC5 Fundo
	7	Mecânico	56	Manchão	OK	BC5 Fundo
	8	Mecânico	82	Manchão	OK	BC5 Fundo
	9	Mecânico	83	Manchão	OK	BC5 Fundo
	10	Mecânico	84	Manchão	OK	BC5 Fundo
	11	Mecânico	72	Manchão	OK	BC5 Fundo
	12	Mecânico	73	Manchão	OK	BC5 Fundo
	13	Mecânico	74	Manchão	OK	BC5 Fundo
	14	Mecânico	84	Manchão	OK	BC5 Fundo
	15	Mecânico	85	Manchão	OK	BC5 Fundo
	16	Mecânico	90	Manchão	OK	BC5 Fundo
	17	Mecânico	34	Manchão	OK	BC5 Fundo
	18	Mecânico	35	Manchão	OK	BC5 Fundo
	19	Mecânico	164	Manchão	OK	BC5 Fundo
	20	Mecânico	35	Manchão	OK	BC5 Fundo
	21	Mecânico	167	Manchão	OK	BC5 Fundo
	22	Mecânico	163	Manchão	OK	BC5 Fundo
	23	Mecânico	159	Manchão	OK	BC5 Fundo
	24	Mecânico	160	Manchão	OK	BC5 Fundo
	25	Mecânico	211	Manchão	OK	CL3B
	1	Mecânico	705	Manchão	OK	CL3B
	2	Mecânico	702	Manchão	OK	CL3B
	3	Mecânico	697	Manchão	OK	CL3B
	4	Mecânico	698	Manchão	OK	CL3B
	5	Mecânico	696	Manchão	OK	CL3B

 PEAD SOLDAS LTDA IMPERMEABILIZADOR	..... CONTRATANTE FISCAL DA OBRA
--	--

**Figura 7.25 – Exemplo de Controle de Reparos da Geomembrana do DRS1 (MELO, 2014)**

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1****Fevereiro/2014:**

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm no canal da BC5 para a BC 7 entre os dias 04/02/14 e 28/02/14;
- Execução de 108 soldas em Geomembrana PEAD com o equipamento COMET no canal da BC7 para a BC5 entre os dias 04/02/14 e 28/02/14;
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 172 pontos na BC7 e no canal da BC7 para a BC5 entre os dias 10/02/14 e 28/02/14, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados;
- Execução de reparos na geomembrana do talude da BC5 em 19 pontos no dia 20/02/14 devido a danos mecânicos, através da execução de “manchão” e, na sequência, executando ensaio de vácuo.

**Março/2014:**

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm nos taludes externos e internos da CL3B e no canal da BC5 para a BC 7 entre os dias 01/03/14 e 21/03/14;
- Execução de 107 soldas em Geomembrana PEAD com o equipamento COMET no canal da BC7 para a BC5 e no talude externo da CL3B entre os dias 01/03/14 e 21/03/14;
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 18 pontos no canal da BC7 para a BC5 entre os dias 10/02/14 e 28/02/14, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados;
- Execução de reparos na geomembrana do talude norte da BC5 em 45 pontos no dia 14/03/14 devido a danos mecânicos, através da execução de “manchão” e, na sequência, executando ensaio de vácuo.

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

Abril/2014:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm nos taludes externos da CL3B entre os dias 14/04/14 e 25/04/14;
- Execução de reparos na geomembrana dos taludes norte e sul da CL3B em 12 pontos no dia 14/03/14 devido a danos mecânicos, aplicando-se o método Manchão e, na sequência, executando ensaio de vácuo.

Maio/2014:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm nos taludes externos da CL3B entre os dias 02/05/14 e 27/05/14;
- Execução de 69 soldas em Geomembrana PEAD com o equipamento COMET nos taludes externos da CL3B entre os dias 02/05/14 e 27/05/14.

Agosto/2014:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm nos taludes externos dos Canais Leste e Norte entre os dias 19/08/14 e 26/08/14;
- Execução de 12 soldas em Geomembrana PEAD com o equipamento COMET nos Canais Leste e Norte entre os dias 19/08/14 e 26/08/14;
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 13 pontos nos Canais Leste e Norte entre os dias 20/08/14 e 25/08/14, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados.

Setembro/2014:

- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm nos taludes internos e externos da CL3B e do Rápido 11 entre os dias 02/09/14 e 29/09/14;

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

- Execução de 139 soldas em Geomembrana PEAD com o equipamento COMET nos Taludes Norte Internos e Externos da CL3B e no Canal Norte da CL3A entre os dias 02/09/14 e 29/09/14;
- Execução de ensaios não destrutivo de pressurização em 05 pontos nos Canal Norte da CL3A entre os dias 19/09/14 e 25/09/14, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sem perda de pressão, indicando resultados adequados.

Novembro/2014:

- Lançamento e Instalação de geotêxtil BIDIM com espessura de 2,00 mm no Talude Interno Leste da CL3B e no Talude Interno Oeste da CL3A entre os dias 01/11/14 e 28/11/14;
- Lançamento e Instalação de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm nos Taludes Externo e Interno Leste da CL3B e nos Taludes Externo e Interno Oeste da CL3A entre os dias 01/11/14 e 30/11/14;
- Execução de 309 soldas em Geomembrana PEAD com o equipamento COMET nos Taludes Externo e Interno Leste da CL3B, nos Taludes Externo e Interno Oeste da CL3A, no Talude Externo Norte da CL3A, no Canal Norte da CL3A e no Rápido 5, entre os dias 01/11/14 e 30/11/14.

### 7.9.3 Considerações do auditor específicas ao revestimento da CL3

Conforme indicado item 7.9.2, a HYDRO disponibilizou os Relatórios de Serviços de Impermeabilização com Manta PEAD do Depósito DRS1, referente às estruturas Célula Leste CL3 (fundo do reservatório e taludes internos e externos), Bacia de Controle BC5 e canal alargado (antiga BC7), Rápidos 5 e 11, junções e Canais de Contorno, elaborados pela empresa MELO Equipamentos e Serviços de Construção. Nestes relatórios, é possível verificar que a HYDRO possui os registros de lançamento de geomembrana, solda de geomembrana, ensaios não destrutivos de pressurização e reparos referente



## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

aos meses de outubro, novembro e dezembro/2013 e janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro e novembro/2014.

Os registros dos Relatórios de Serviços de Impermeabilização com Manta PEAD do Depósito DRS1 indicam o lançamento de Geomembrana PEAD com espessura de 1,50 mm na Célula Leste CL3, nas Bacias de Controle BC5, nos canais de contorno e nos Rápidos 5 e 11 e indicam a execução das soldagens dos painéis com o equipamento COMET. Os relatórios indicam a execução de ensaios não destrutivo de pressurização, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sendo possível verificar que não houve perda de pressão em nenhum dos ensaios realizados, indicando resultados de estanqueidade da geomembrana adequados. Por fim, os relatórios apresentam a execução de reparos na geomembrana PEAD devido a danos mecânicos, através da execução de “manchão” e, na sequência, executando ensaio de vácuo, obtendo-se resultados de estanqueidade da geomembrana adequados.

Os danos mecânicos observados durante a instalação da geomembrana, que podem ter sido causados pela exposição da geomembrana “antiga” para junção com a nova geomembrana, apresentam registros de que foram reparados e testados quanto a qualidade do reparo. Estes relatos indicam que ocorreu uma avaliação de fato quanto à qualidade de instalação.

Não foram identificados documentos que retratem ensaios destrutivos com as amostras de solda realizada em campo na implantação da geomembrana para as células do DRS1.

A ausência dos documentos não indica que a camada impermeabilizante seja ineficiente, porém acendem alertas para um mais rigoroso monitoramento de qualidade das águas subterrâneas e superficiais da região. O relatório FG-2201-NHB-A-BA-RT07 da letra D deste TAC 3.1 trata com maior profundidade o monitoramento dos poços ambientais

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

Os relatórios indicam a execução de ensaios não destrutivo de pressurização, utilizando-se o equipamento Agulha de Teste e aplicando uma pressão de 2 Bar, sendo possível verificar que não houve perda de pressão em nenhum dos ensaios realizados, indicando resultados de estanqueidade da geomembrana adequados. Por fim, os relatórios apresentam a execução de reparos na geomembrana PEAD devido a danos mecânicos, através da execução de “manchão” e, na sequência, executando ensaio de vácuo, também obtendo resultados de estanqueidade da geomembrana adequados. Entende-se que os resultados dos ensaios não destrutivos realizados trazem maior segurança ao se afirmar que a geomembrana aplicada sob o depósito atende às normas mais exigentes nacionais e internacionais à época em que foi instalada.

#### 7.10 PROJETO “AS IS” DO DRS1 ATUALIZADO

Conforme indicado no Projeto *As Is* do Depósito DRS1, elaborado pela PIMENTA DE AVILA em 29/07/21, doc. RT-3540-54-G-1014, todo o reservatório do DRS1 é impermeabilizado com geomembrana PEAD. Os documentos de projeto indicam que foi previsto o lançamento de uma camada de 7 cm de areia após a regularização do fundo do reservatório e das bacias de controle. Nos taludes de montante do reservatório da célula CL3 foi aplicado geotêxtil de 400g/m<sup>2</sup> antes da geomembrana PEAD.

O Projeto *As Is* indica que foi informado pela HYDRO via e-mail no dia 23/04/2021 as espessuras de geomembrana empregadas no DRS1 em função do estaqueamento do dique do depósito apresentado na Figura 7.26:

- EST. 0+0,00 a EST. 99+0,00 – 1,0 mm de espessura nas regiões de jusante, canal de contorno, montante e fundo do reservatório;
- EST. 99+0,00 a EST. 200+0,00 – 1,0 mm de espessura na região de jusante, e 1,5 mm de espessura nas regiões do canal de contorno, montante e fundo do reservatório;
- EST. 200+0,00 a EST. 316+0,00 – 1,0 mm de espessura nas regiões de jusante, canal de contorno, montante e fundo do reservatório;

## AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1

- Na crista dos diques do DRS1 a ancoragem das geomembranas de montante e jusante se dá por meio de solda simples a uma distância de 1 m a partir do bordo de montante;
- Na crista dos canais de contorno, onde a montante tem-se a impermeabilização do DRS1, a geomembrana dos canais é soldada na geomembrana do DRS1 a uma distância de 1 m do bordo do canal;
- A ancoragem se dá por meio de trincheiras nos bordos externos dos canais de contorno e bacias de controle;
- BC1, BC2 e BC3 – 1,0 mm de espessura na região dos taludes e no fundo. A região entre a BC1 e a BC2 não se encontra impermeabilizada com geomembrana;
- BC5 e BC6 – 1,5 mm de espessura na região dos taludes e no fundo. A região entre a BC5 e a BC6 não se encontra impermeabilizada com geomembrana, contando com uma camada de laterita;
- A região entre os canais oeste e canal sul não se encontra impermeabilizada com geomembrana;
- São colocados sacos de areia nas bermas dos diques do DRS1, sobre a geomembrana, ao longo de todo seu perímetro.

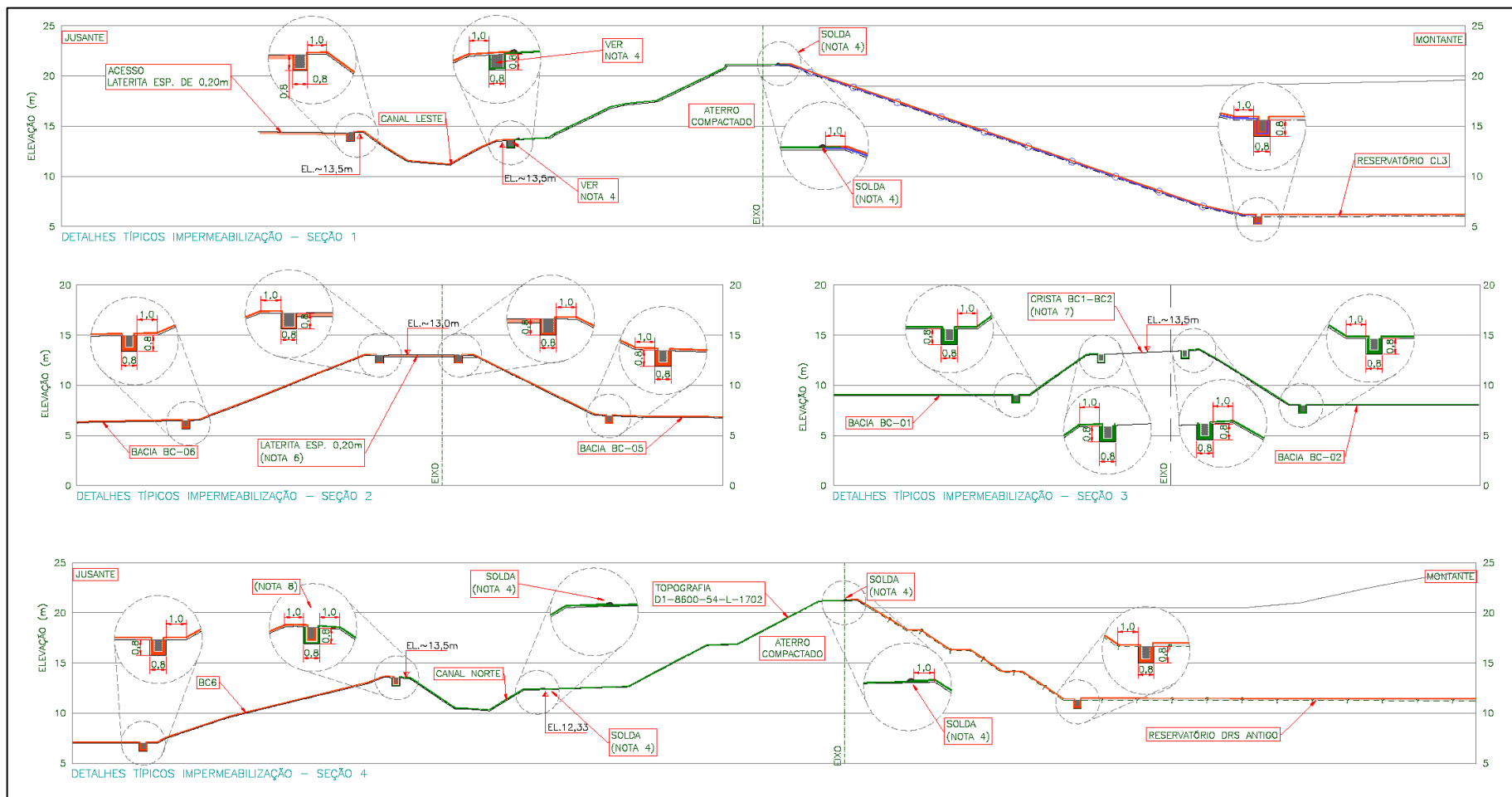
A geomembrana é ancorada nas estruturas a um offset lateral de 1 m a partir dos bordos das estruturas. A Figura 7.27 apresenta seções típicas do dique de contorno e do canal de contorno do DRS1, indicando a aplicação da geomembrana. Conforme o desenho D1-3540-54-G-1155 R01 (PIMENTA DE AVILA, 2021), a linha vermelha representa a Geomembrana PEAD de 1,50 mm, a linha verde representa a Geomembrana PEAD de 1,00 mm e a linha azul representa o Geotêxtil não tecido de 400 g/m<sup>2</sup>.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.26 – Estaqueamento do dique do DRS1 (D1-3540-54-G-1113 R01, PIMENTA DE AVILA, 2021).**

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**



**Figura 7.27 – Seções típicas da impermeabilização do dique e dos canais do DRS1 (D1-3540-54-G-1155 R01, PIMENTA DE AVILA, 2021).**

### 7.11 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO AUDITOR

Em função da incipiência de regulamentação nacional à época da implantação das primeiras células do DRS1, a qualidade e quantidade dos registros da impermeabilização das células foi incrementada ao longo dos anos, tendo as células mais recentes um maior volume e qualidade dos dados.

De acordo com os documentos consultados, nas diferentes células do DRS1 foi aplicada geomembrana com espessura variável, de 0,75mm a 1,50mm. Sendo que nas células mais antigas, diante de uma regulamentação menos restritiva e as vezes até inexistente, foi aplicado geomembrana, entretanto, sem um registro de documentos de engenharia como nas células mais novas. Todavia, é destacada a preocupação em garantir a estanqueidade do DRS1, uma vez que já em 1984 foi prevista a análise da aplicação de camada impermeabilizante com geossintéticos sob o depósito.

Para tentar resgatar um pouco mais do histórico das células antigas, foi informado a FONNTES em reunião, que a equipe técnica da ALUNORTE entrou em contato com o projetista da Célula Inicial. Esse resgate de informações, apesar de ter sido apenas verbal, foi importante para um entendimento do contexto da época, quando a normatização brasileira era inexistente. De acordo com o relato do projetista original foi utilizado o que existia de normatização à época, que eram apenas algumas normas internacionais. Os fornecedores de geomembrana no Brasil também eram limitados em função de os produtos não serem produtos utilizados no Brasil, além de existir poucos tipos geomembrana disponíveis para aplicação. Segundo o projetista, os conceitos do projeto da Célula Inicial foi replicado na outras células executadas posteriormente.

Com o passar dos anos e o aumento do arcabouço regulamentar acerca da aplicação e controle tecnológico de geomembranas para impermeabilização, foi também acrescido o controle e a qualidade do material aplicado sob as células do DRS1.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

No que diz respeito a vida útil das geomembranas, a resistência química e durabilidade das geomembranas de modo geral são manifestados pela oxidação ou ação de raios ultravioleta, temperatura e agentes biológicos, para isso são empregados aditivos na composição da geomembrana como o negro de fumo, antioxidantes e estabilizadores.

Koerner (2011) apresenta um estudo de predição de vida útil das geomembranas PEAD para condições não expostas e diferentes temperaturas. Com base na temperatura de 30°C para geomembrana não exposta, a vida útil é de 166 anos e com base na temperatura de 35°C a vida útil é de 106 anos. A média das temperaturas máximas anuais na região do depósito é de 31,6°C, o que permite-nos estimar uma vida útil de aproximadamente 150 anos.

É possível afirmar que foram seguidos os padrões e regulamentações existentes à época da implantação da geomembrana impermeabilizante de cada célula do DRS1, tendo sido adotados critérios muitas vezes conservadores e mais restritivos que as normas vigentes.

Entretanto, para investigar a estanqueidade da camada impermeabilizante, se fazem necessários outros instrumentos além dos registros históricos de aplicação da geomembrana. A eficiência da estanqueidade da geomembrana precisa ser sempre avaliada ao longo do tempo através da instrumentação de controle, em especial por meio dos piezômetros, INA's e poços ambientais. Além disso, ainda que tenham sido adotadas premissas conforme a regulamentação internacional e nacional quando existentes, apenas com base nos registros documentais existentes não é possível comprovar a estanqueidade da geomembrana aplicada sob o DRS1, mas sim a instalação dentro de critérios e padrões que tem sua evolução técnica ocorrendo ao longo do tempo na engenharia brasileira.

## 8. CONCLUSÕES

Conforme comentado os históricos das células mais antigas são escassos em termos de instalação e ensaios. Todavia, isso justifica-se uma vez que à época não havia o mesmo arcabouço regulamentar para aplicação dos geossintéticos como atualmente no Brasil. Além disso, para as células mais novas também não há registro de ensaios destrutivos. No entanto, o Relatório *As Built* da Impermeabilização da Célula Sul do DRS1, por exemplo, apresentou registros fotográficos das obras de aplicação, instalação e soldagem da geomembrana PEAD, incluindo a retirada de amostras de Geomembrana PEAD para avaliação em laboratório, a execução de solda por extrusão, de testes para verificação da qualidade da solda e a execução de solda dupla a cunha quente, concluindo que as soldas estavam adequadas. Entende-se que os resultados dos ensaios não destrutivos realizados trazem maior segurança no que diz respeito a qualidade da geomembrana aplicada sob o DRS1.

Devido ao fato de o DRS1 ter sido implantado durante a vigência de diferentes regulamentações de instalação de geomembranas, se fazem necessários outros instrumentos além dos registros históricos para investigar a estanqueidade da camada impermeabilizante. A eficiência da estanqueidade da geomembrana precisa ser sempre avaliado ao longo do tempo através da instrumentação de controle, em especial por meio dos piezômetros, INA's e poços ambientais. Todavia, ressalta-se que desde o projeto inicial de 1994 (D1-1850-54-G-001 1) tem sido ponto de alta relevância a garantia pela estanqueidade do depósito de resíduos, uma vez que se optou pela aplicação de placas de geomembrana sintética sob a célula inicial, mesmo não havendo exigência em regulamentação nacional para tanto de acordo com a classificação do resíduo.

Conclui-se que é possível afirmar que foram seguidos os padrões e regulamentações existentes à época da implantação da geomembrana impermeabilizante de cada célula



**AValiação dos EnsaioS Destrutivos e Não Destrutivos no DRS1**

do DRS1, tendo sido adotados critérios muitas vezes conservadores e mais restritivos que as normas vigentes.

Por fim, ainda que tenham sido adotadas premissas conforme a regulamentação internacional e nacional quando existentes, apenas com base nos registros documentais existentes não é possível comprovar a estanqueidade da geomembrana aplicada sob o DRS1.

A correta leitura e interpretação da instrumentação à luz do estudo de background ambiental, irá verificar se de fato a geomembrana está cumprindo o seu papel ao longo do tempo. Maiores detalhes sobre a instrumentação de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas podem ser consultados no relatório que responde à pergunta de letra D da TAC 3.1, FG-2201-NHB-A-BA-RT07.

## 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. ASTM D 4545 (1986) “Standard Practice for Determining the Integrity of Factory Seams Used in Joining Manufactured Flexible Sheet Geomembranes” – American Society of Testing and Materials.
- iii. ASTM D 4437 (1999) “Standard Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes” – American Society of Testing and Materials.
- iv. ASTM D 6392 (1999): “Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams produced using Thermo-Fusion Methods” – American Society of Testing and Materials.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

- v. 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.
- vi. 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.
- vii. 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.
- viii. 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.
- ix. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- x. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xi. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xii. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xiii. \_\_\_\_\_. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xiv. IGSBR GM 01/03 (2003): – “Instalação de Geomembranas Termoplásticas em Obras Geotécnicas e de Saneamento Ambiental: Recomendações para Projeto” – Publicação da IGS Brasil – Associação Brasileira de Geossintéticos – Brazilian Chapter, afiliada à International Geosynthetic Society.
- xv. KOERNER, R.M.; HSUAN, Y.G.; KOERNER, G. R. (2011). Geomembrane lifetime prediction: unexposed and exposed conditions. GRW White Paper No.6. Original: 7 June 2005; updated: 8 February 2011.

**AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS NO DRS1**

- xvi. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- 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.
- xviii. VERTEMATTI, J. C (coord.). Manual Brasileiro de Geossintéticos. 2ªed. São Paulo: Blucher, 2015.



**FONNTES**  
G E O T É C N I C A

WEBSITE

[www.fonntesgeotecnica.com](http://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