

À

NORSK HYDRO BRASIL

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

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

Prezada,

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

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Belo Horizonte, 03 de julho de 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes
DIRETOR
FONNTES GEOTÉCNICA

RELATÓRIO TÉCNICO DE AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

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

BARCARENA – PA



Agosto/2023

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2**SUMÁRIO**

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO	6
3. DADOS UTILIZADOS	7
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA.....	9
5.1 LOCALIZAÇÃO	11
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	16
5.2.1 <i>Geologia Regional</i>	16
5.2.2 <i>Histórico de Investigações</i>	18
5.2.3 <i>Geologia Local</i>	19
5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA	20
5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	21
5.5 DIQUE DE CONTORNO.....	22
5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	23
5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	23
5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	23
5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	23
5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)	23
5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	24
5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA	25
5.13 INSTRUMENTAÇÃO.....	26
5.14 SISTEMA EXTRAVASOR.....	27
5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO	28
5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL	28
5.17 PROJETO <i>AS BUILT</i>	28
6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	29
7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	31
7.1 NÍVEIS DE CONTROLE DE INSTRUMENTAÇÃO	34
7.2 AVALIAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	35

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

7.3	AVALIAÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	62
7.4	AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.....	68
7.5	FREQUENCIA DE MONITORAMENTO.....	74
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
8.1	MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE FÍSICA	76
8.2	MONITORAMENTO DAS BACIAS.....	79
8.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A DENSIDADE DE INSTRUMENTAÇÃO.....	79
8.4	MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	79
9.	REFERÊNCIAS	81
10.	ANEXO A.....	83

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

GLOSSÁRIO

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

- 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 (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 -

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

Nesse contexto, o presente relatório apresenta os estudos realizados para atendimento do item d), relativo à avaliação da drenagem superficial do DRS2.

2. OBJETIVO

Em atendimento ao termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF, o presente documento abordará o item **“d) Análise qualitativa da instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas”**, para o depósito de resíduos DRS2.

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

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 D)**, objeto desse relatório.

A questão central deste item é a instrumentação. Para responder de forma mais didática é necessário separar os tipos de instrumentação da estrutura em relação a finalidade de monitoramento a que se destinam. É possível dividir em três tipos de instrumentação:

- ✓ *Instrumentos destinados a monitorar a estabilidade física e estrutural dos Diques Laterais e dos resíduos armazenados, como piezômetros, indicadores de nível de água, marcos de recalque etc.;*
- ✓ *Medidores de nível de água armazenada nas baias que coletam as águas superficiais. São responsáveis por definir o momento de acionamento dos sistemas de bombeamento para envio da água para tratamento, além de garantir que há um volume de reserva para armazenar eventos pluviométricos de grande intensidade;*
- ✓ *Poço ambientais, localizados no entorno das estruturas. São responsáveis por verificar a qualidade da água subterrânea, identificando alterações que possam sugerir eventual contaminação devido a falha no sistema de impermeabilização;*

Para responder ao item propõe-se avaliar, para cada tipo de instrumentação, se a quantidade e localização são pertinentes e suficientes para o que se precisa monitorar. Serão apontadas regiões que podem carecer de incremento de instrumentos, caso existam. Por fim, será apresentado parecer técnico se a quantidade de instrumentos e frequência de leituras são adequados para se operar com segurança as estruturas.

3. DADOS UTILIZADOS

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

Tabela 3.1 – Documentos utilizados para elaboração desse relatório

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is”	PIMENTA DE ÁVILA	29/07/21
OM-3541-54-G-282 R08	Manual de Operação – DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	05/03/21
RT-3541-54-G-451 R01	Considerações sobre o “Como construído” da estrutura inicial do DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	Set/2020
RT-3541-54-G-360 R01	“Como Construído” do sistema de disposição de resíduos DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA	Jul/2018
RT-3541-54-G-485	Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021	PIMENTA DE AVILA	Fev/2022
-	“Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021.xlsx	HYDRO	Fev/2022
-	NK03.01 - PM02-R0 – DRS2.xlsx	HYDRO	Fev/2022
RT-469137-54-G-0002 R003	Relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2 2021/2	GEOCONSULTORIA	04/02/2022
-	Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS2	HYDRO	18/02/2022
2020.15.01_Estudo de Background Ambiental de Barcarena_LAGECO	Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA	LAGECO e IECOS	2020

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

comum a todos os relatórios de cada letra específica do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC 3.1) contempla os itens 1 a 5.

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

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

5. APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

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

- Reservatório de resíduo úmido;
- Reservatório de resíduo seco (com dique central e *fingers*);
- Plataforma da pilha de retomada;
- Célula de Contingência;
- Canal de contenção de sedimentos;
- Canal de adução das bacias de controle;
- Bacias de controle BC 201 e BC 202

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

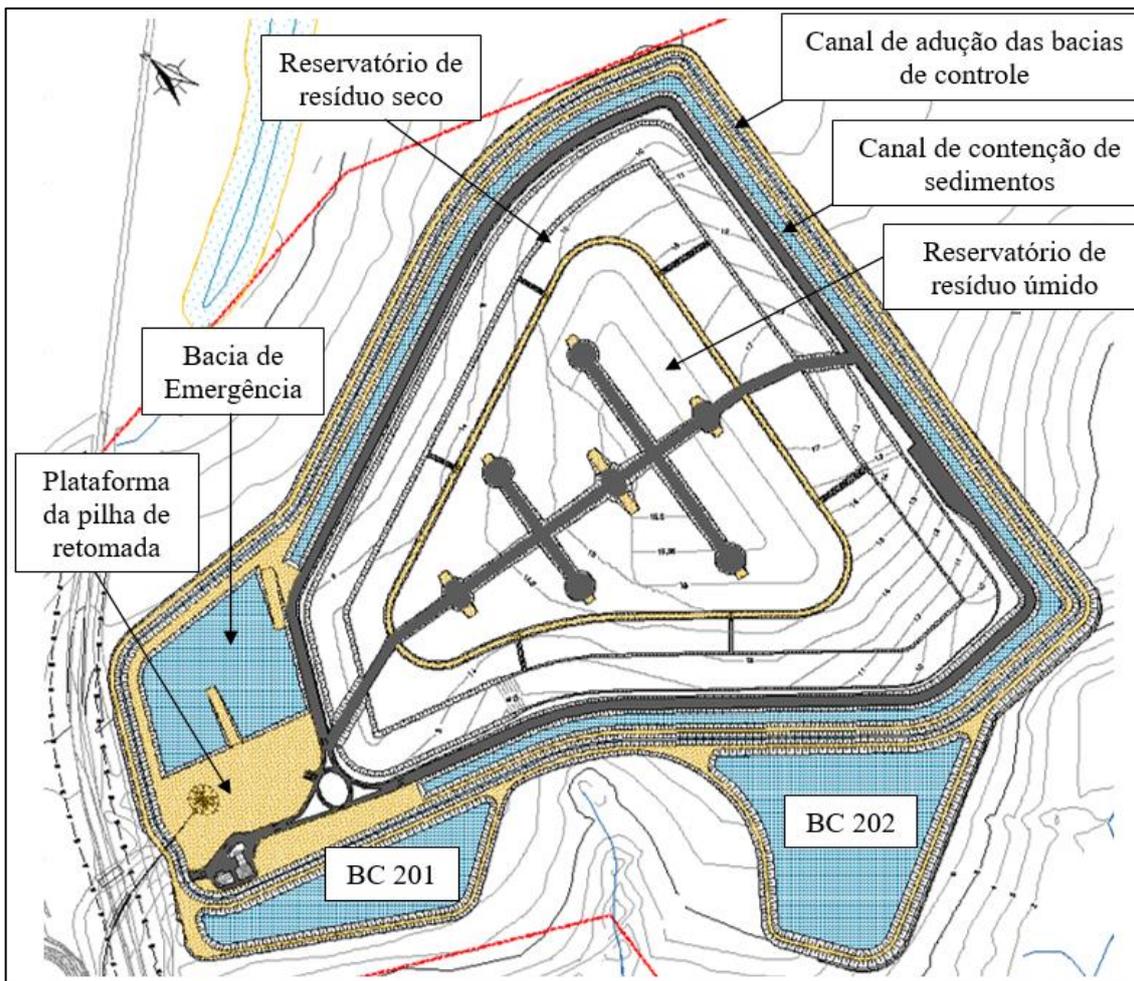


Figura 5.1 – Layout da fase 1 do DRS2 (MD-3541-54-G-096)

A seguir será apresentada a localização do depósito de resíduos sólidos DRS2 e em seguida o mesmo será caracterizado de acordo com o Memorial Descritivo do Projeto Detalhado do DRS2 Fase 01, documento MD-3541-54-G-096, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, revisão 17 de setembro de 2015. Para caracterização da estrutura também é utilizado o relatório “As Built” do Projeto Detalhado do DRS2, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria LTDA, documento RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

julho de 2018. Ressalta-se que atualmente apenas a Fase 01 do está em execução, sendo a Fase 2 uma futura expansão.

5.1 LOCALIZAÇÃO

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

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

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

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

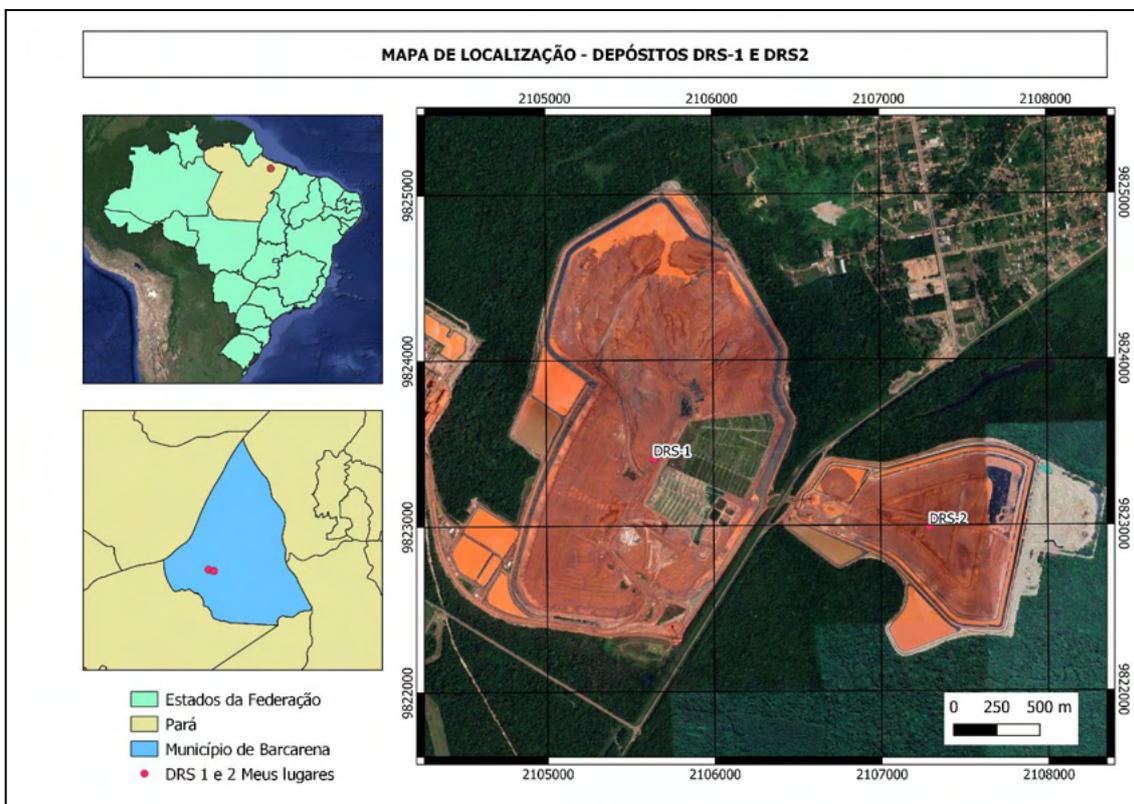
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

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

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

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes, apresentando densidade demográfica de 76,21 habitantes por quilômetro quadrado. Conforme Figura 5.3, identificam-se as comunidades Água Verde, Cabeceira Grande, Caravelas 1, Caravelas 2 Jardim das Palmeiras, Laranjal, Massarapó, Nazaré, Nestor Campos e Vila São Francisco.

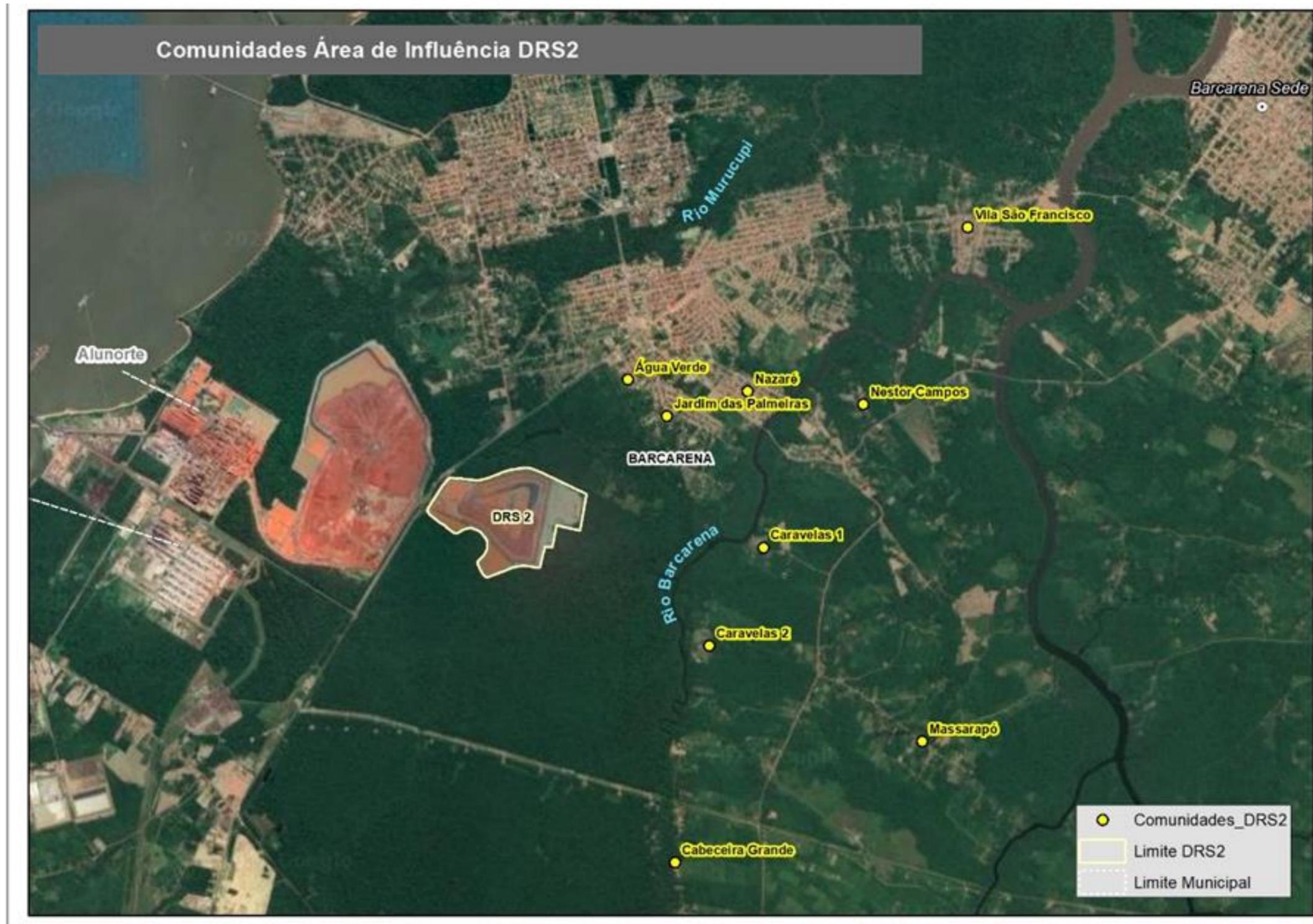


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DA LOCALIZAÇÃO DO DRS2 COM O PROJETO		

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

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

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

AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DA LOCALIZAÇÃO DO DRS2 COM O PROJETO

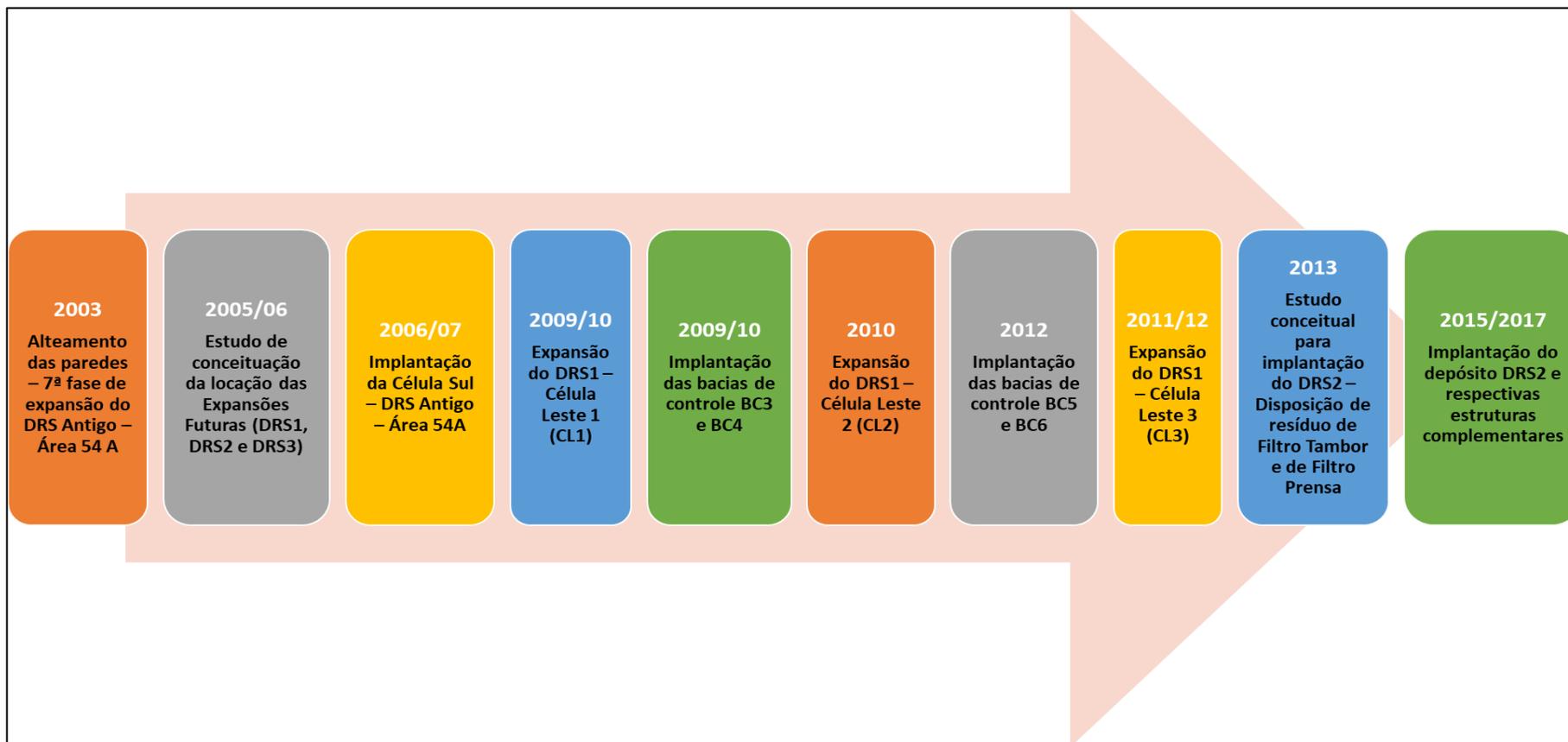


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

5.2.1 Geologia Regional

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

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

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

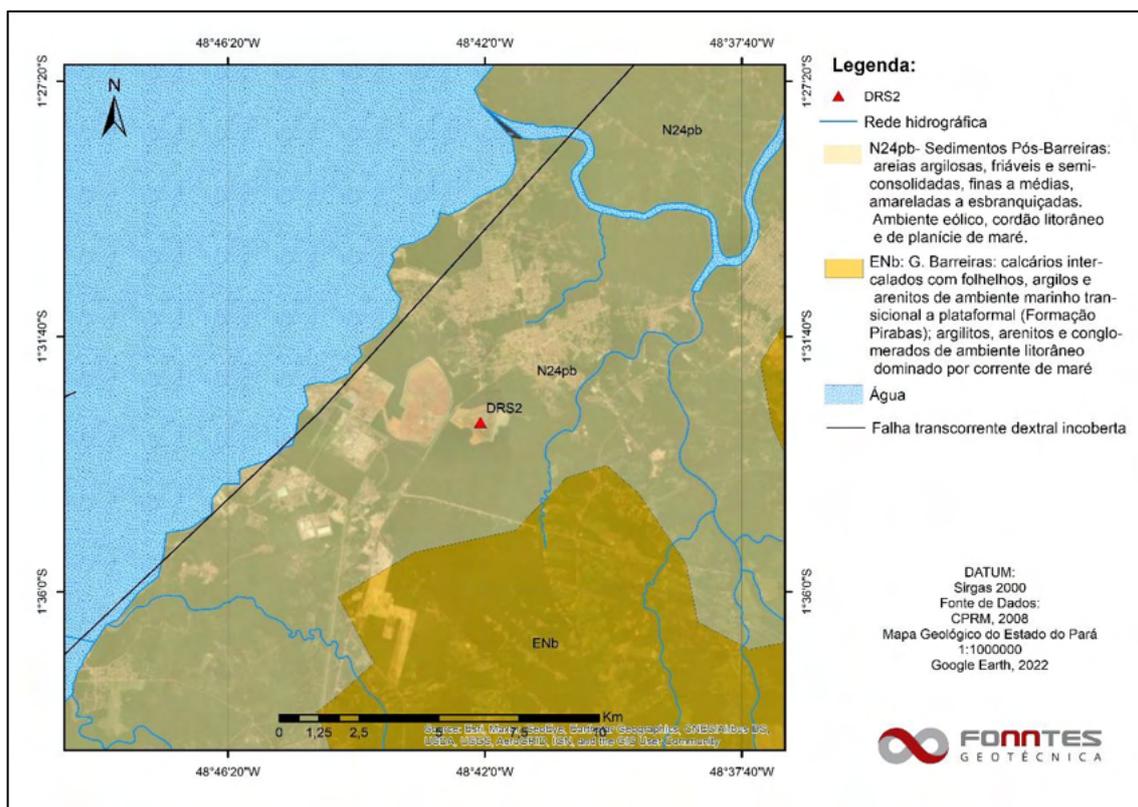


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS2

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

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

5.2.2 Histórico de Investigações

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

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

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

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

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

5.2.3 Geologia Local

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

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

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

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

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

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

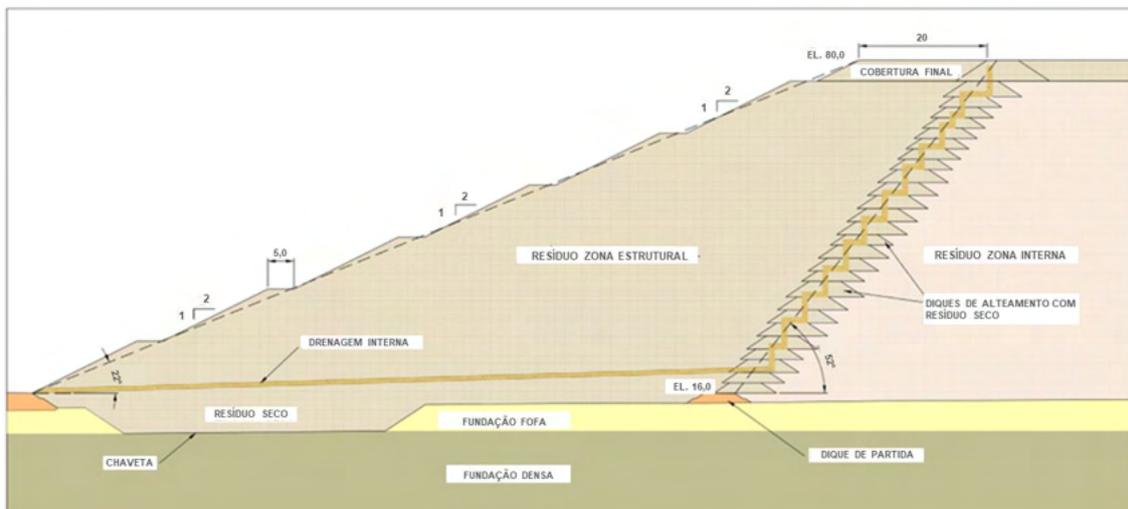
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


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

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

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

A Célula de Contingência foi projetada para receber resíduo em condições de umidade extremamente elevadas. Tendo em vista que elevada umidade impossibilitaria a sua disposição por meio de espalhamento com trator de esteiras. Foi prevista crista na El. 16,0 m e fundo com elevação variável em torno da EL. 11,0 m, área em planta de cerca de 48.500 m², taludes de montante com inclinação 1V:1,5H e volume de armazenamento de aproximadamente 199.483 m³ de resíduo “super úmido”. A Célula de Contingência é apresentada na Figura 5.7.

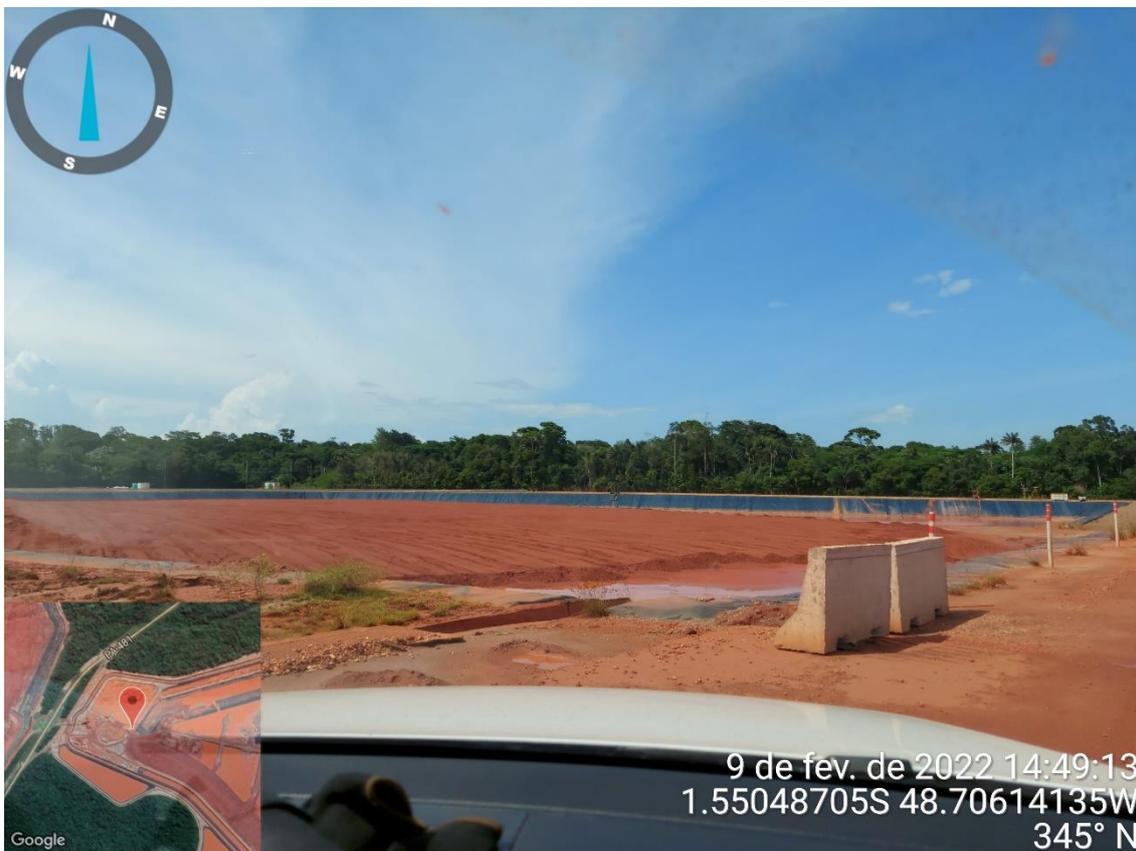


Figura 5.7 – Célula de Contingência

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

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

sedimentos provenientes da drenagem da pilha, que porventura sejam carreados para o canal.

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

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

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

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

5.5 DIQUE DE CONTORNO

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

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

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

5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE

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

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

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

5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL)

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

5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

circulares, foram previstas rampas para a descida de tratores de esteira que promovem o espalhamento do resíduo.

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

5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

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

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

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

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

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

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

5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA

Segundo o memorial descritivo, o sistema de drenagem interna foi previsto ser implantado quando a pilha de resíduo atingir a elevação 16 m, ou seja, a borda do dique de contorno. Consiste em drenos transversais, espaçados de 10 m entre si, de seção retangular de 0,60 m por 0,40 m de seixo rolado, envolto por geotêxtil e uma camada de 0,15 m de areia média. A função dos drenos é conduzir o fluxo de água interno da pilha, da área úmida até a crista do dique de contorno da área seca, com declividade de 2%, evitando assim a saturação da zona estrutural da pilha. A água proveniente dos drenos é coletada pela canaleta do dique de contorno, de onde segue o fluxo de efluentes até as bacias de controle.

A Figura 5.8 e Figura 5.9 ilustram a seção e detalhe típicos dos drenos.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

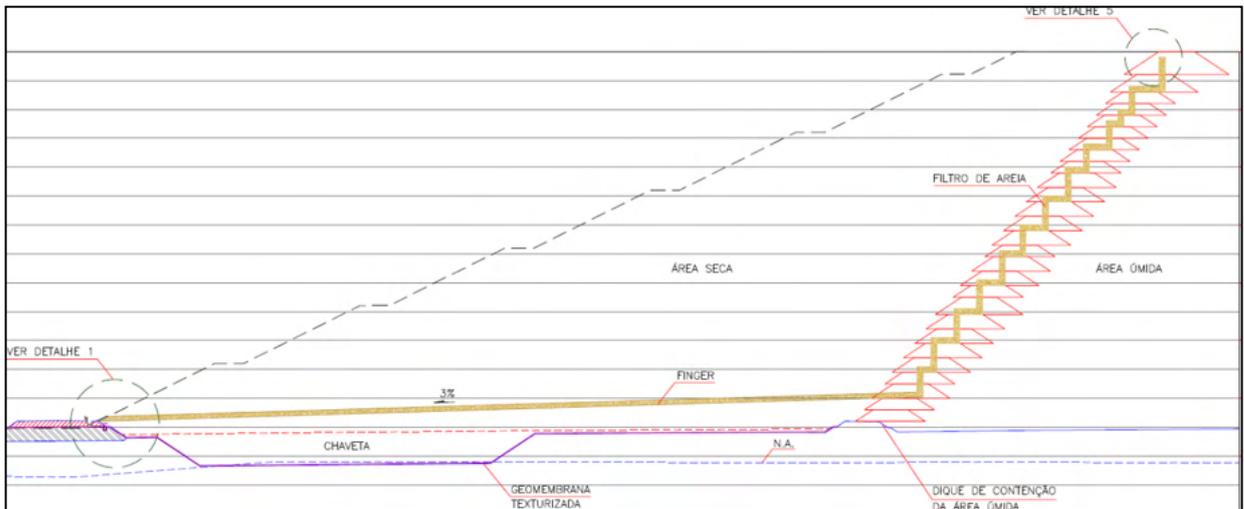


Figura 5.8 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)

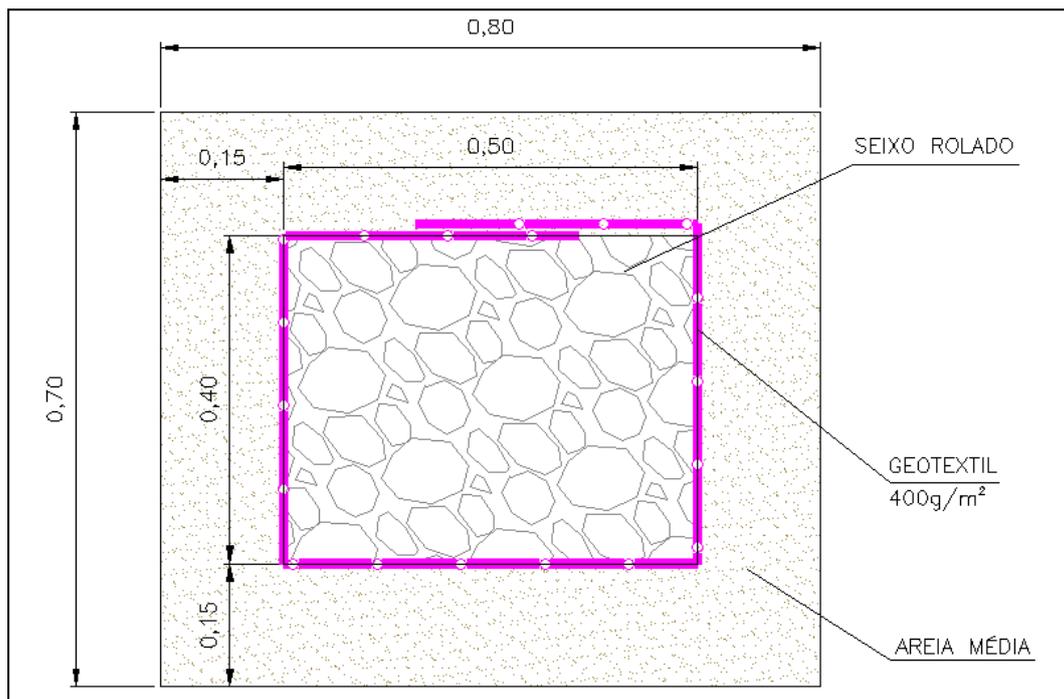


Figura 5.9 – Detalhe Típico – Drenos (D1-3541-54-G-163)

5.13 INSTRUMENTAÇÃO

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

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

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

5.14 SISTEMA EXTRAVASOR

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

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

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

Entre o canal de contenção de sedimentos e o canal de adução é prevista a implantação 4 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs

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

- Canal de adução ligando à BC 201;

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

- Canal de adução ligando à BC 202;

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

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

5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO

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

5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL

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

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

5.17 PROJETO AS BUILT

O relatório “As Built”/Como Construído elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria (RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018) foi elaborado após a

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

implementação da primeira fase do DRS2 e apresenta pequenas divergências entre o projeto e o que foi executado. Ressalta-se que até o presente momento, apenas a primeira fase do DRS2 foi implementada e está em fase de operação. Segundo o relatório “As Built” não foram identificados documentos que evidenciem as seguintes ações durante a execução do projeto:

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

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

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

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

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

de 2022. A metodologia estabelecida para o atendimento da letra B), objeto desse relatório, e reproduzida a seguir.

Para a análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem do DRS2, os tipos de instrumentação do depósito foram divididos em três grupos, em função da finalidade dos instrumentos:

- Instrumentos destinados a monitorar a estabilidade física e estrutural dos Diques Laterais e dos resíduos armazenados, como piezômetros e indicadores de nível de água;
- Medidores de nível de água das bacias que coletam as águas superficiais. Estes instrumentos são responsáveis por definir o momento de acionamento dos sistemas de bombeamento para envio da água para tratamento, além de garantir que há um volume de reserva para armazenar eventos pluviométricos de grande intensidade;
- Poço ambientais, localizados no entorno das estruturas e responsáveis por verificar a qualidade da água subterrânea, identificando alterações que possam sugerir a eventual contaminação devido a falha no sistema de impermeabilização;

Para cada tipo de instrumentação, foi avaliada se a quantidade e localização são pertinentes e suficientes para o que se precisa monitorar, além de apontar as regiões que podem carecer de incremento de instrumentos, caso existam. Por fim, apresenta-se o parecer técnico para validação da operação da estrutura com segurança a partir da quantidade de instrumentos e frequência de leituras.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Conforme indicado no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente ao período de outubro a dezembro/2021, elaborado pela PIMENTA DE AVILA, em 04/02/2022, documento RT-3541-54-G-485, existem sete seções instrumentadas no depósito DRS2 (Seção A até a Seção G), a serem executadas em oito etapas, em função dos alteamentos da pilha. Além destas seções, existem duas seções instrumentadas localizadas nas Bacias BC-201 e BC-202, denominadas Seção BC-201-A e Seção BC-202-B, respectivamente.

Atualmente, o depósito DRS2 possui: 11 piezômetros Casagrande; 17 piezômetros elétricos de corda vibrante com pedra porosa de alta pressão de entrada de ar; 02 piezômetros elétricos standard; 20 tubos inclinômetros; e 13 poços de monitoramento instalados nas adjacências do DRS2. Além disso, as bacias de controle BC-201 e BC-202 possuem: 02 piezômetros Casagrande instalados em cada uma; 12 marcos superficiais instalados na região da crista para monitoramento de potenciais deformações e de indícios de movimentações de tais estruturas; e os níveis das bacias e dos canais de contorno são aferidos regularmente

Os dados de cadastro dos piezômetros, marcos superficiais e poços de monitoramento do Depósito DRS2 são apresentados da Tabela 7.1 a Tabela 7.3, respectivamente. A Figura 7.1 apresenta a localização em planta dos instrumentos.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2
Tabela 7.1 – Dados cadastrais dos Piezômetros tipo Casagrande (PIMENTA DE AVILA, 2022)

SEÇÃO	INSTRUMENTO	COTA DE BASE (M)	COORDENADAS UTM (SAD69)	
			N (M)	E (M)
A	PZC-01-A	4,41	9.828.796,91	755.840,95
	PZE-01-HAE-A	4,51	9.828.771,29	755.847,16
	PZE-02-HAE-A	9,97	9.828.719,17	755.862,06
	PZE-03-HAE-A	9,96	9.828.675,05	755.874,35
B	PZC-01-B	4,58	9.828.730,47	755.607,13
	PZE-01-HAE-B	4,48	9.828.705,82	755.613,94
	PZE-02-HAE-B	9,97	9.828.655,44	755.628,09
	PZE-03-HAE-B	9,81	9.828.609,49	755.640,73
C	PZC-01-C	4,10	9.828.405,45	756.210,56
	PZE-01-HAE-C	7,53	9.828.408,00	756.187,10
	PZE-02-C	10,03	9.828.414,97	756.125,06
	PZE-03-C	10,01	9.828.419,12	756.088,48
D	PZC-01-D	7,39	9.828.582,80	755.321,84
	PZE-01-HAE-D	5,25	9.828.572,74	755.344,17
	PZE-02-HAE-D	10,31	9.828.547,12	755.405,50
E	PZC-01-E	7,50	9.828.078,98	755.721,87
	PZE-01-HAE-E	7,55	9.828.096,83	755.740,99
	PZE-02-HAE-E	9,35	9.828.131,16	755.776,59
	PZE-03-HAE-E	10,00	9.828.165,46	755.812,80
F	PZC-01-F	7,50	9.828.252,65	755.547,11
	PZE-01-HAE-F	7,55	9.828.273,26	755.561,72
	PZE-02-HAE-F	10,00	9.828.314,31	755.591,34
	PZE-03-HAE-F	10,00	9.828.354,72	755.620,30
G	PZC-01-G	5,00	9.827.872,47	756.064,51
	PZE-01-HAE-G	4,30	9.827.977,61	756.014,37
	PZE-02-HAE-G	5,00	9.827.910,53	756.046,34
BC-201-A	PZC-01	10,22	9.828.194,26	755.268,20
	PZC-02	2,04	9.828.192,38	755.264,67
BC-202-B	PZC-03	10,23	9.827.682,92	755.616,17
	PZC-04	1,82	9.827.681,25	755.612,10

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2
Tabela 7.2 – Dados cadastrais dos marcos superficiais (PIMENTA DE AVILA, 2022)

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (SIRGAS2000)		COTA DE INSTALAÇÃO (m)
	NORTE (m)	ESTE (m)	
MS-01	9.827.746,898	755.846,311	15,281
MS-02	9.827.710,182	755.752,986	15,232
MS-03	9.827.675,302	755.659,244	15,287
MS-04	9.827.639,268	755.565,901	15,279
MS-05	9.827.683,577	755.484,350	15,204
MS-06	9.827.775,330	755.442,082	15,368
MS-07	9.827.853,884	755.504,925	15,346
MS-08	9.827.940,515	755.547,679	15,258
MS-09	9.828.198,436	755.303,312	15,289
MS-10	9.828.154,699	755.216,797	15,216
MS-11	9.828.157,134	755.128,403	15,199
MS-12	9.828.218,413	755.049,545	15,230

Tabela 7.3 – Dados de cadastro dos poços de monitoramento (PIMENTA DE AVILA, 2022)

INSTRUMENTO	COORDENADAS UTM (SAD69)		COTA DE TOPO (m)
	NORTE (m)	ESTE (m)	
PM-01-A	9.828.251,11	756.273,07	17,99
PM-02-A	9.828.724,42	756.369,91	17,01
PM-03-A	9.828.905,75	756.175,93	15,86
PM-04-A	9.828.894,97	755.843,97	13,71
PM-05-A	9.828.786,54	755.427,42	15,19
PM-06-A	9.828.648,76	755.021,39	16,61
PM-07-A	9.828.420,88	754.899,49	16,51
PM-08-A	9.828.169,79	755.252,06	13,92
PM-09-A	9.827.966,56	755.582,40	13,33
PM-10-A	9.827.729,40	755.511,61	11,00
PM-11-A	9.827.744,98	755.845,13	10,91
PM-12-A	9.827.776,05	756.217,61	10,83
PM-13-A	9.828.218,09	755.416,27	13,01

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

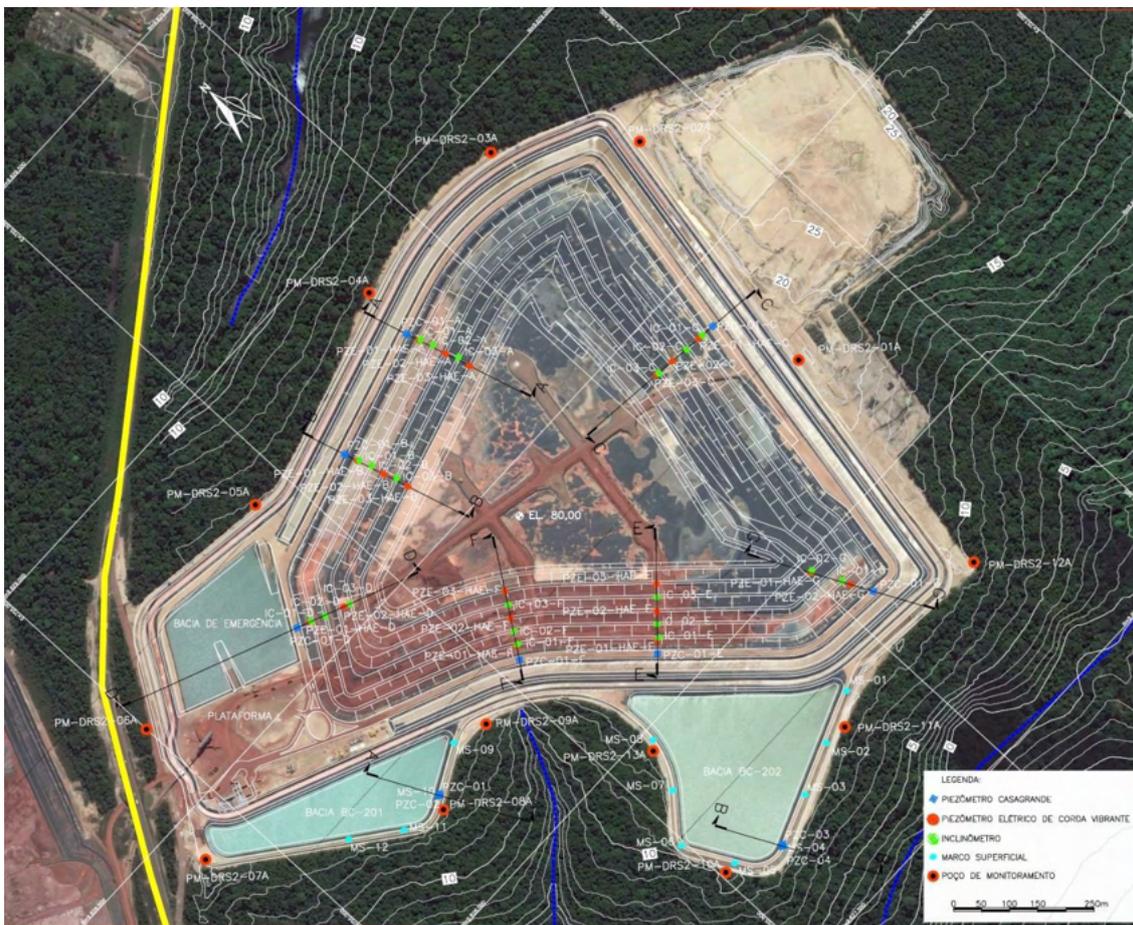


Figura 7.1 – Localização em planta dos instrumentos de monitoramento do dique do DRS1 (RT-3541-54-G-485, PIMENTA DE AVILA, 2022)

7.1 NÍVEIS DE CONTROLE DE INSTRUMENTAÇÃO

É importante esclarecer que a SEMAS/PA, órgão que fiscaliza as atividades dos depósitos da ALUNORTE, não dispõe em suas instruções algum direcionamento ou definição para os níveis de controle dos depósitos. Nesse sentido, a FONNTES optou por adotar os níveis de controle dos depósitos balizados em orientações da Resolução ANM nº 95/2022.

Conforme o inciso XXXVII do Art. 2º da Resolução ANM nº95, de 07 de fevereiro de 2022, os níveis de controle da instrumentação consistem em níveis que delimitam os limites aceitáveis de auscultação para cada instrumento, ou conjunto de instrumentos, da

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

estrutura visando subsidiar a tomada de decisão para ações preventivas e corretivas, utilizado como um dos elementos para avaliação de segurança da barragem, devendo ser definido individualmente para cada estrutura através de avaliações de segurança e classificados nos níveis de atenção (amarelo), alerta (laranja) e emergência (vermelho).

Os níveis de controle de instrumentação são classificados de acordo com os Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade das estruturas, baseando-se nos níveis de emergência definidos no Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM). Os níveis de emergência consistem em convenção utilizada na Resolução ANM nº95/2022 para graduar as situações de emergência em potencial que possam comprometer a segurança das barragens e são definidas como:

- Atenção (Nível de Emergência 1 – amarelo): quando o Fator de Segurança drenado estiver entre $1,3 \leq FS < 1,5$ ou Fator de Segurança não drenado de pico estiver entre $1,2 \leq FS < 1,3$ ou quando o Fator de Segurança não drenado de pico estiver entre $1,2 \leq FS < 1,5$;
- Alerta (Nível de Emergência 2 – laranja): quando o Fator de Segurança drenado estiver entre $1,1 \leq FS < 1,3$ ou Fator de Segurança não drenado de pico estiver entre $1,0 \leq FS < 1,2$;
- Emergência (Nível de Emergência 3 – vermelho): quando o Fator de Segurança drenado estiver abaixo de 1,1 ou Fator de Segurança não drenado de pico estiver abaixo de 1,0.

7.2 AVALIAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

Inicialmente é importante apresentar o regime de precipitação local para avaliar junto dos registros dos instrumentos de monitoramento da estrutura. Conforme indicado no item 5.1, 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. Visando ilustrar o regime

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

pluviométrico local, são apresentados os dados da normal climatológica para Belém conforme INMET (1991-2020). Nota-se que o mês mais chuvoso é março com a precipitação média mensal de 506 mm e o menos chuvoso é setembro com a precipitação de 120 mm.

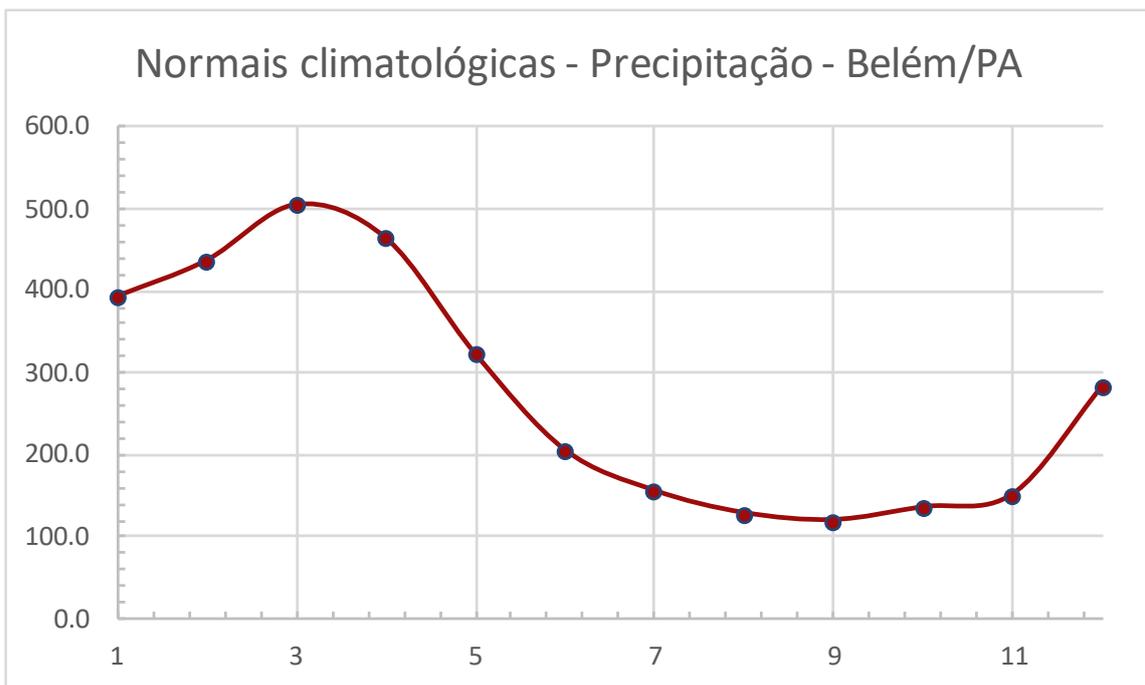


Figura 7.2 – Normais climatológicas – precipitação – Belém/PA (INMET, 2020)

Para a avaliação da instrumentação do Depósito DRS2, foram adotados como referência os gráficos gerados pela PIMENTA DE AVILA no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente ao período de outubro a dezembro/2021, doc. RT-3541-54-G-485. As análises dos instrumentos foram divididas em 07 seções (Seção A Seção G), conforme indicadas na Figura 7.1.

Considerou-se, também, o banco de dados de leituras dos instrumentos disponibilizados pela HYDRO, em fevereiro/2022, nos arquivos “Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021” e “NK03.01 - PM02-R0 – DRS2”.

Seção A:

A Figura 7.3 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção A. A Figura 7.4 apresenta a Seção A com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.5 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção A.



Figura 7.3 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção A (PIMENTA DE AVILA, 2021)

Como se pode observar na Figura 7.4, os piezômetros PZC-01-A e PZE-01-HAE-A, instalados próximos à borda da pilha apresentaram oscilações em suas leituras em função das precipitações. Tal comportamento também foi observado no poço de monitoramento PM-DRS2-04A, instalado a jusante do DRS2, na Seção A.

Por outro lado, os piezômetros PZE-02-HAE-A e PZE-03-HAE-A, instalados mais a montante da Seção A, apresentaram leituras mais constantes, com pouca influência das precipitações. Isso pode ser justificado pela posição da cota de fundo dos piezômetros PZE-02-HAE-A e PZE-03-HAE-A (El. 9,97 m e El. 9,96 m, respectivamente) que se

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

encontram acima dos níveis d'água máximos registrados pelo demais instrumentos da Seção A.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

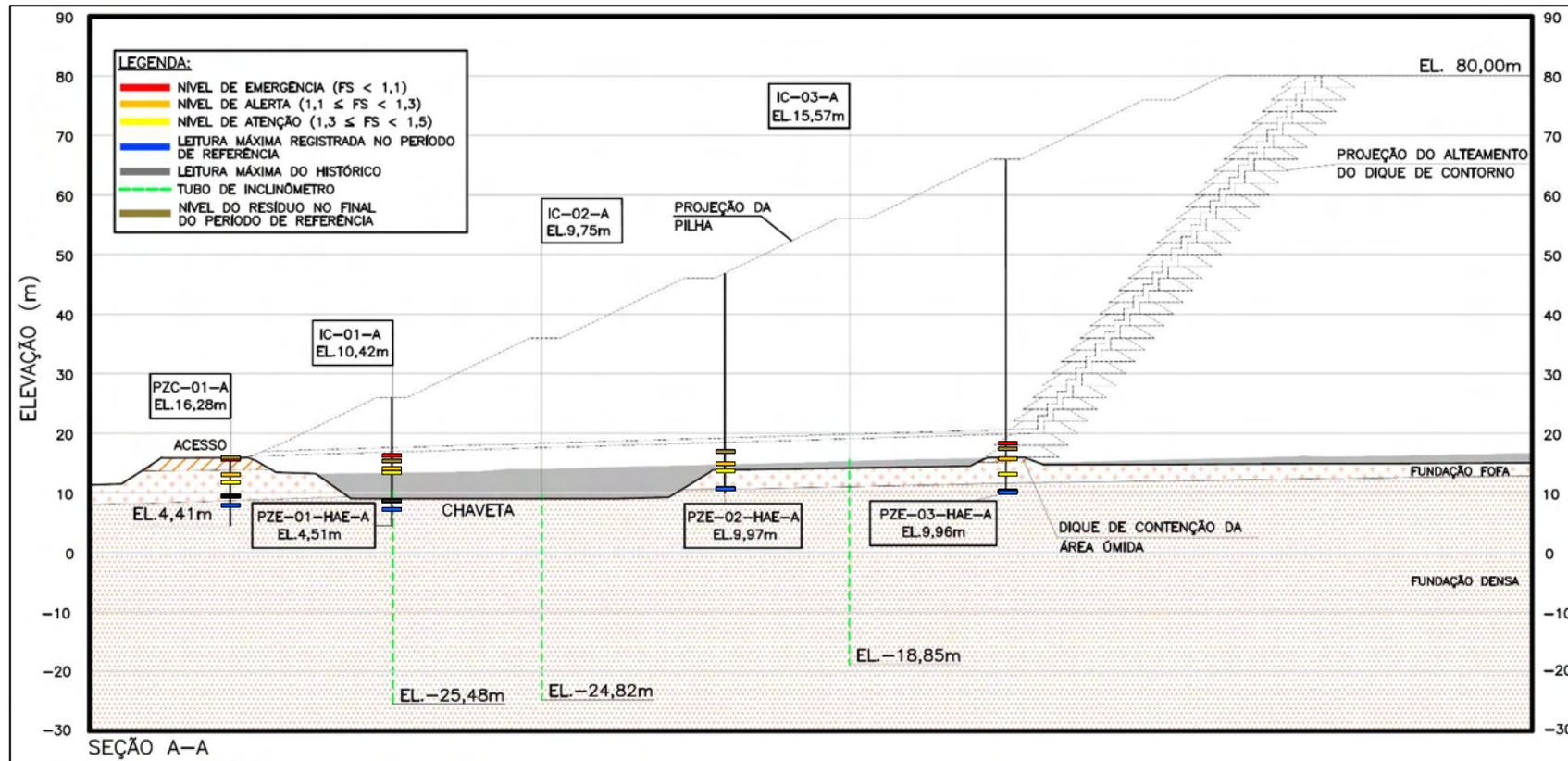


Figura 7.4 – Seção A com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

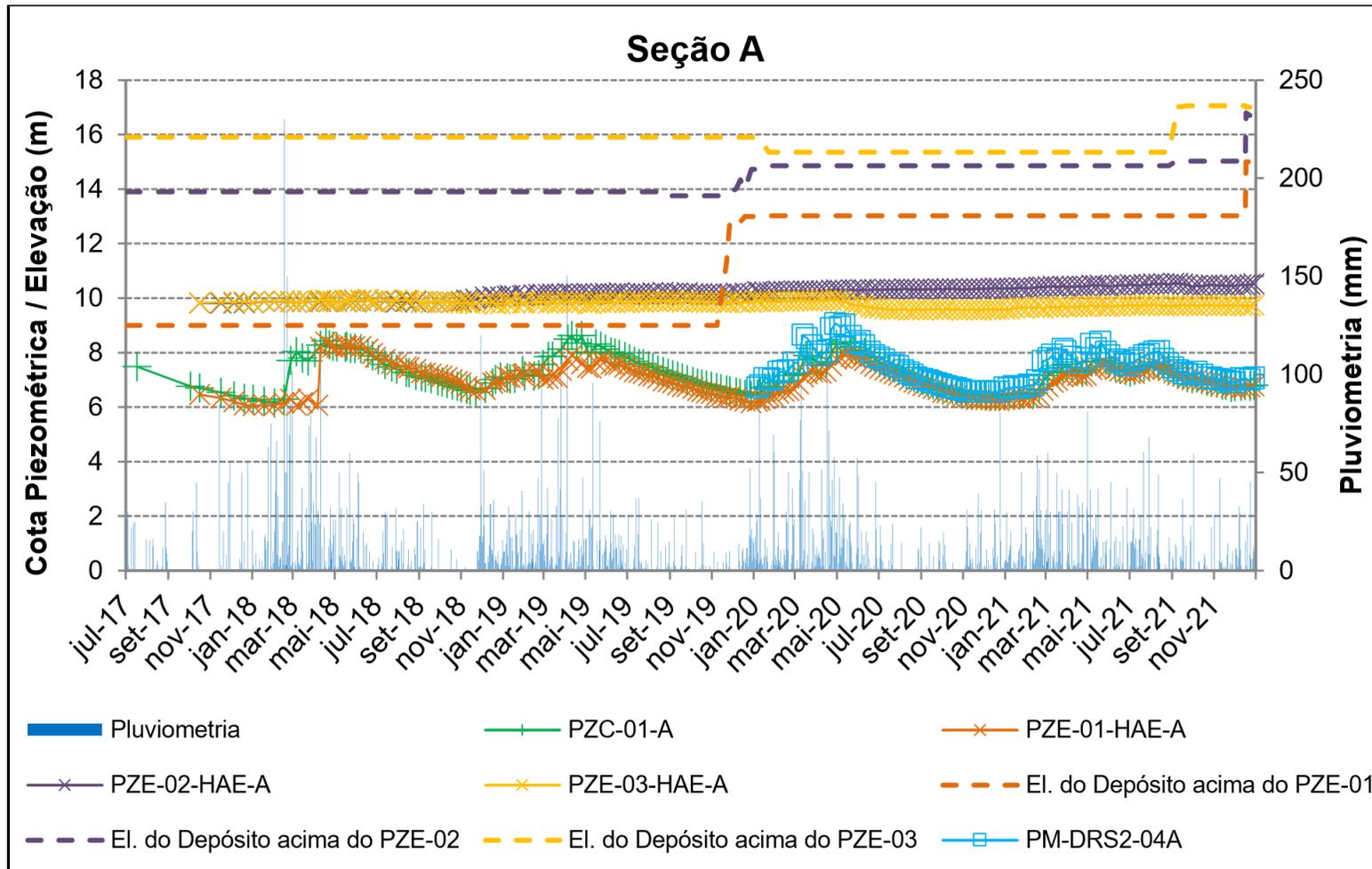


Figura 7.5 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção A (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção B:

A Figura 7.6 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção B. A Figura 7.7 apresenta a Seção B com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.8 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção B.



Figura 7.6 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção B (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.8, os piezômetros PZC-01-B e PZE-01-HAE-B, instalados próximos à borda da pilha apresentaram oscilações em suas leituras em função das precipitações. Tal comportamento também foi observado no poço de monitoramento PM-DRS2-05A, instalado a jusante do DRS2, na Seção B.

Por outro lado, os piezômetros PZE-02-HAE-B e PZE-03-HAE-B, instalados mais a montante da Seção B, apresentaram leituras mais constantes, com pouca influência das precipitações. O PZE-02-HAE-B apresentou leituras próximas a cota de fundo e o PZE-

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

03-HAE-B apresentou leituras negativas. Isso pode ser justificado pela posição da cota de fundo dos piezômetros PZE-02-HAE-B e PZE-03-HAE-B (El. 9,97 m e El. 9,81 m, respectivamente) que se encontram acima dos níveis d'água máximos registrados pelos demais instrumentos da Seção B.

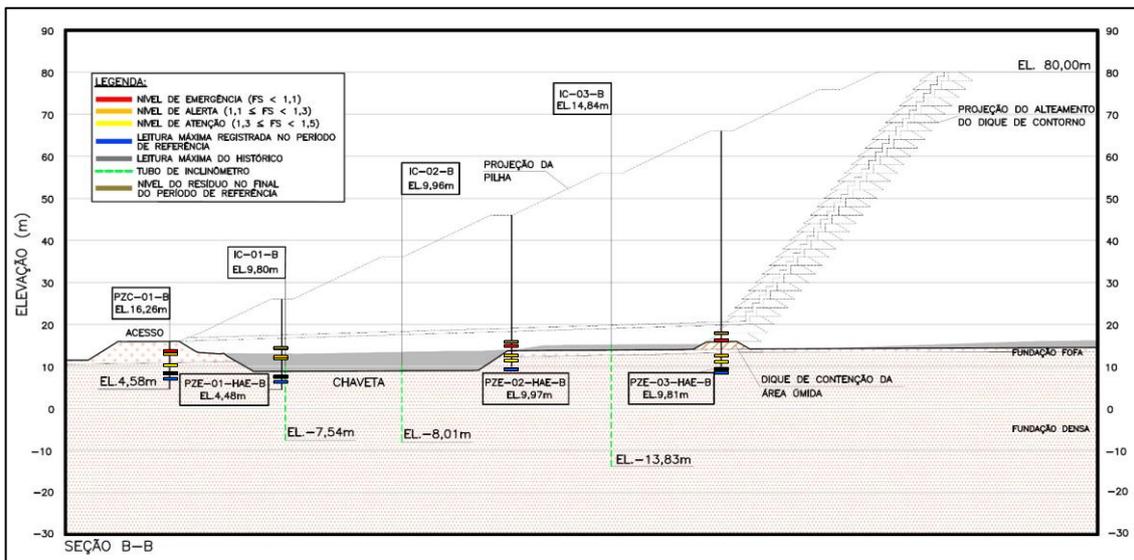


Figura 7.7 – Seção B com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

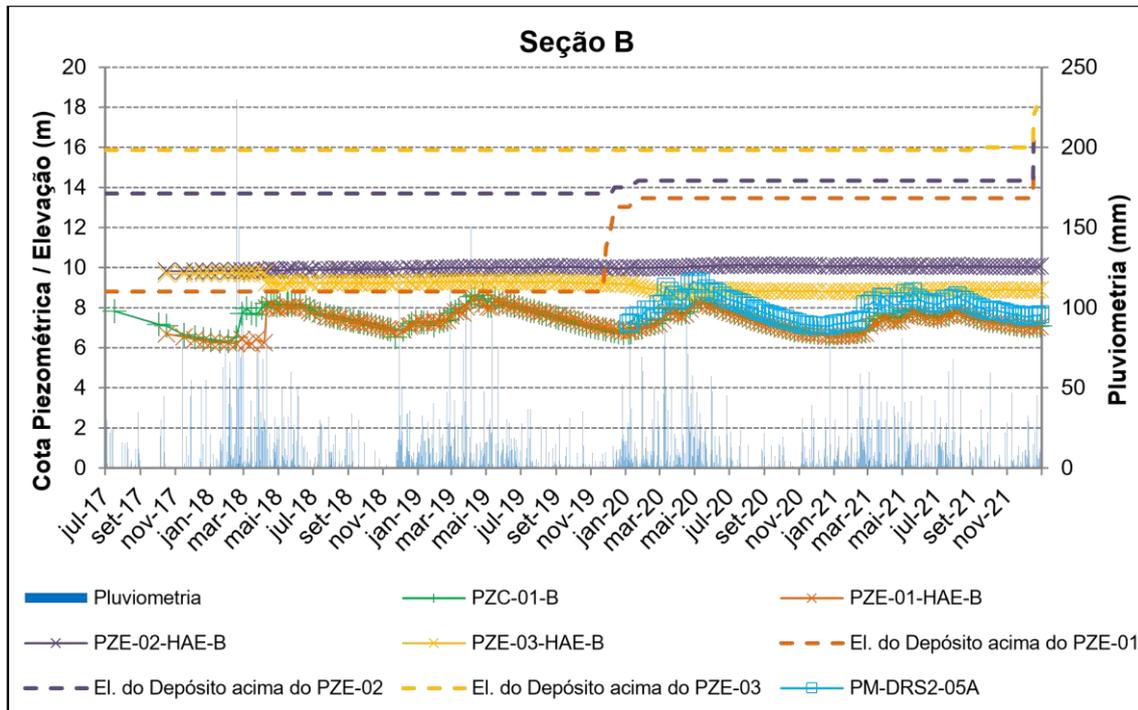


Figura 7.8 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção B (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção C:

A Figura 7.9 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção C. A Figura 7.10 apresenta a Seção C com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.11 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção C.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2



Figura 7.9 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção C (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.11, o piezômetros PZC-01-C, instalados no dique de contorno do depósito DRS2, apresentou oscilações em suas leituras em função das precipitações. Tal comportamento também foi observado no poço de monitoramento PM-DRS2-01A, instalado a jusante do DRS2, na Seção C.

Por outro lado, os piezômetros PZE-01-HAE-C, PZE-02-HAE-C e PZE-03-HAE-C, instalados mais a montante da Seção C, apresentaram leituras mais constantes, com pouca influência das precipitações. O PZE-02-HAE-C apresentou leituras próximas a cota de fundo (nula) e o PZE-01-HAE-C e o PZE-03-HAE-C apresentaram leituras negativas. Isso pode ser justificado pela posição da cota de fundo dos piezômetros PZE-01-HAE-C, PZE-

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

02-HAE-C e PZE-03-HAE-C (El. 7,53 m, El. 10,03 m e El. 10,01 m, respectivamente) que se encontram acima do nível d'água máximo registrado pelo PZC-01-C, na El. 6,57 m.

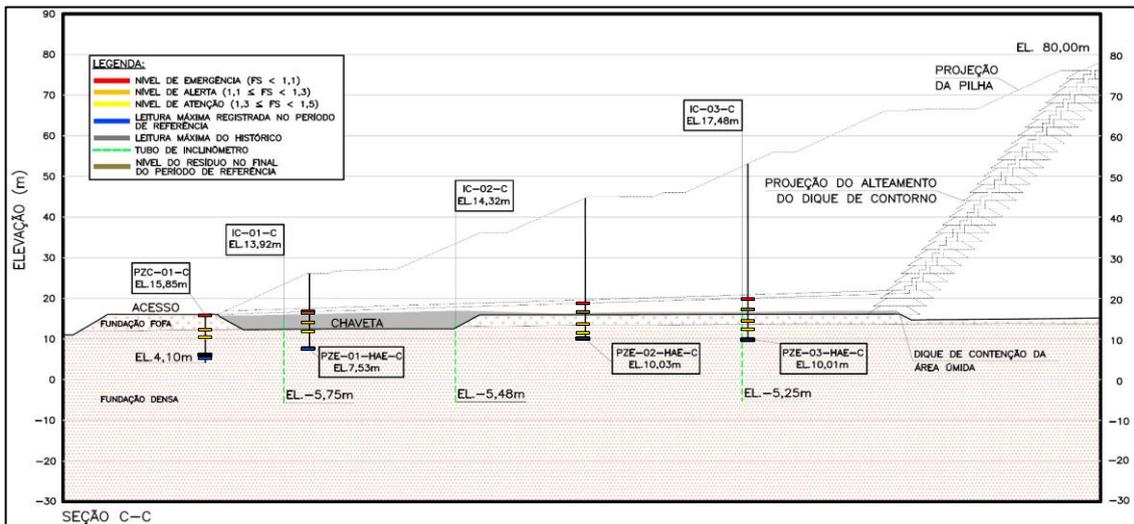


Figura 7.10 – Seção C com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

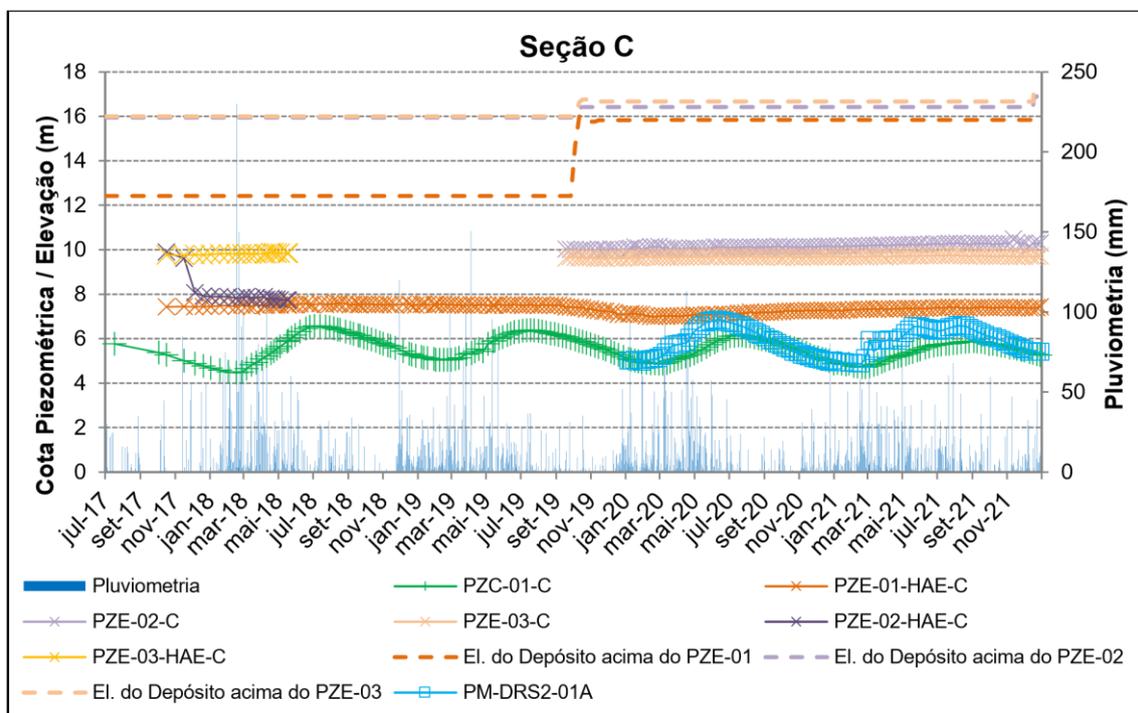


Figura 7.11 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção A (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção D:

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

A Figura 7.12 apresenta a localização em planta dos instrumentos próximos à Seção D. A Figura 7.13 apresenta a Seção D com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.14 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção D.



Figura 7.12 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção D (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.14, os piezômetros PZC-01-D e PZE-01-HAE-D, instalados próximos à borda da pilha apresentaram oscilações em suas leituras em função das precipitações. Tal comportamento também foi observado no poço de monitoramento PM-DRS2-06A, instalado a jusante do DRS2, na Seção D.

Nesta seção, também está localizada a Bacia de Emergência (BC-E), que no dia 23/12/21 registrou nível d'água na El. 12,53 m, enquanto o PM-DRS2-06A registrou nível d'água na EL. 7,89 m e os piezômetros PZC-01-D e PZE-01-HAE-D registram nível piezométrico na El. 6,87 m e El. 5,46 m, respectivamente. Tendo em vista que o nível d'água se

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

encontra mais elevado na Bacia BC-E do que no Dique de Contorno e no poço de monitoramento instalado no terreno natural, é possível comprovar a estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste as estruturas.

Por outro lado, o piezômetro PZE-02-HAE-D, instalado mais a montante da Seção D, apresentou leituras mais constantes, com pouca influência das precipitações. Suas leituras se mantiveram próximas a cota de fundo (nulas) durante o período analisado (desde outubro/2017). Isso pode ser justificado pela posição da cota de fundo do piezômetro PZE-02-HAE-d (El. 10,31 m) que se encontram acima dos níveis d'água máximos registrados pelos demais instrumentos da Seção D.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

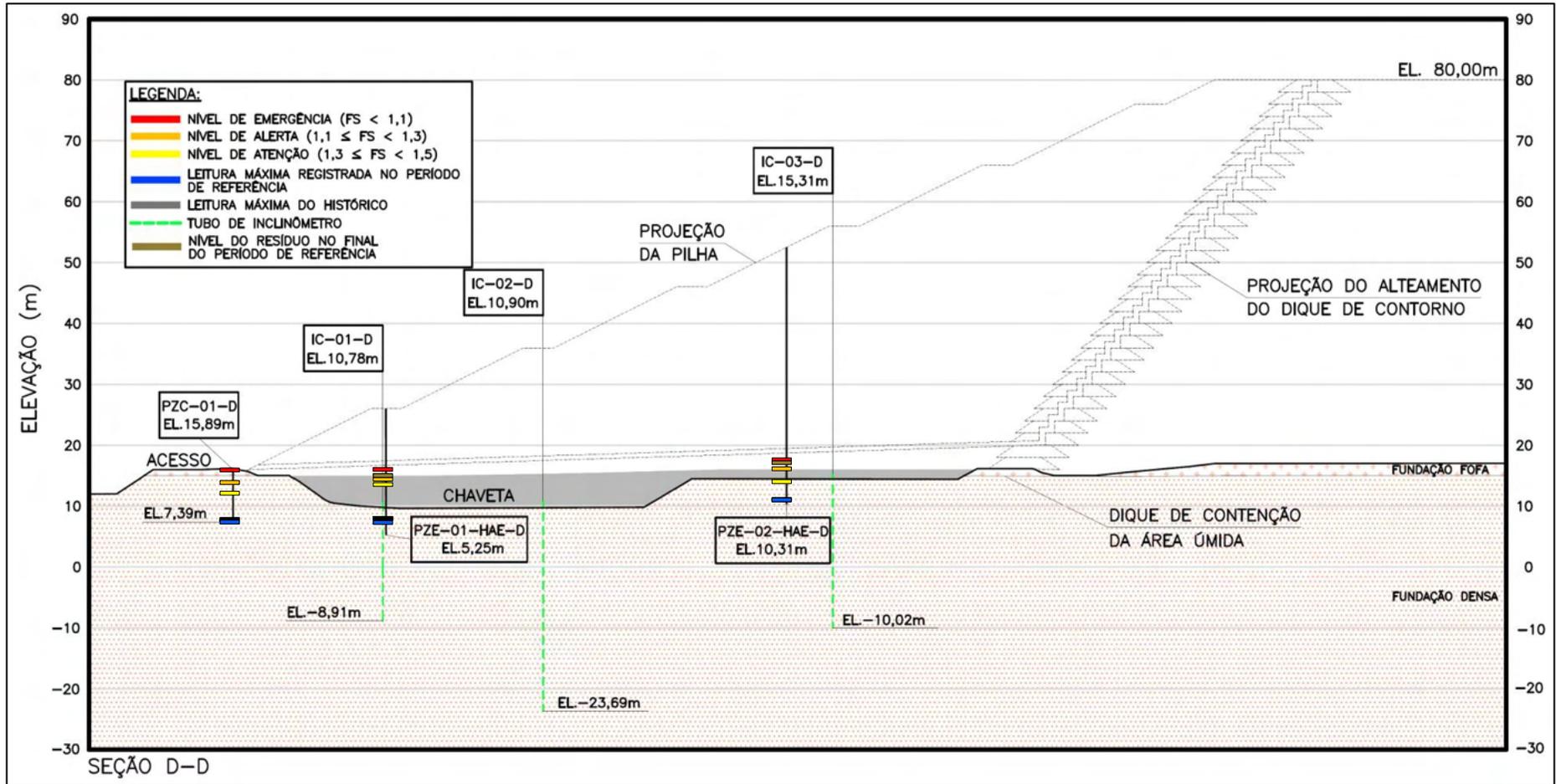


Figura 7.13 – Seção D com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

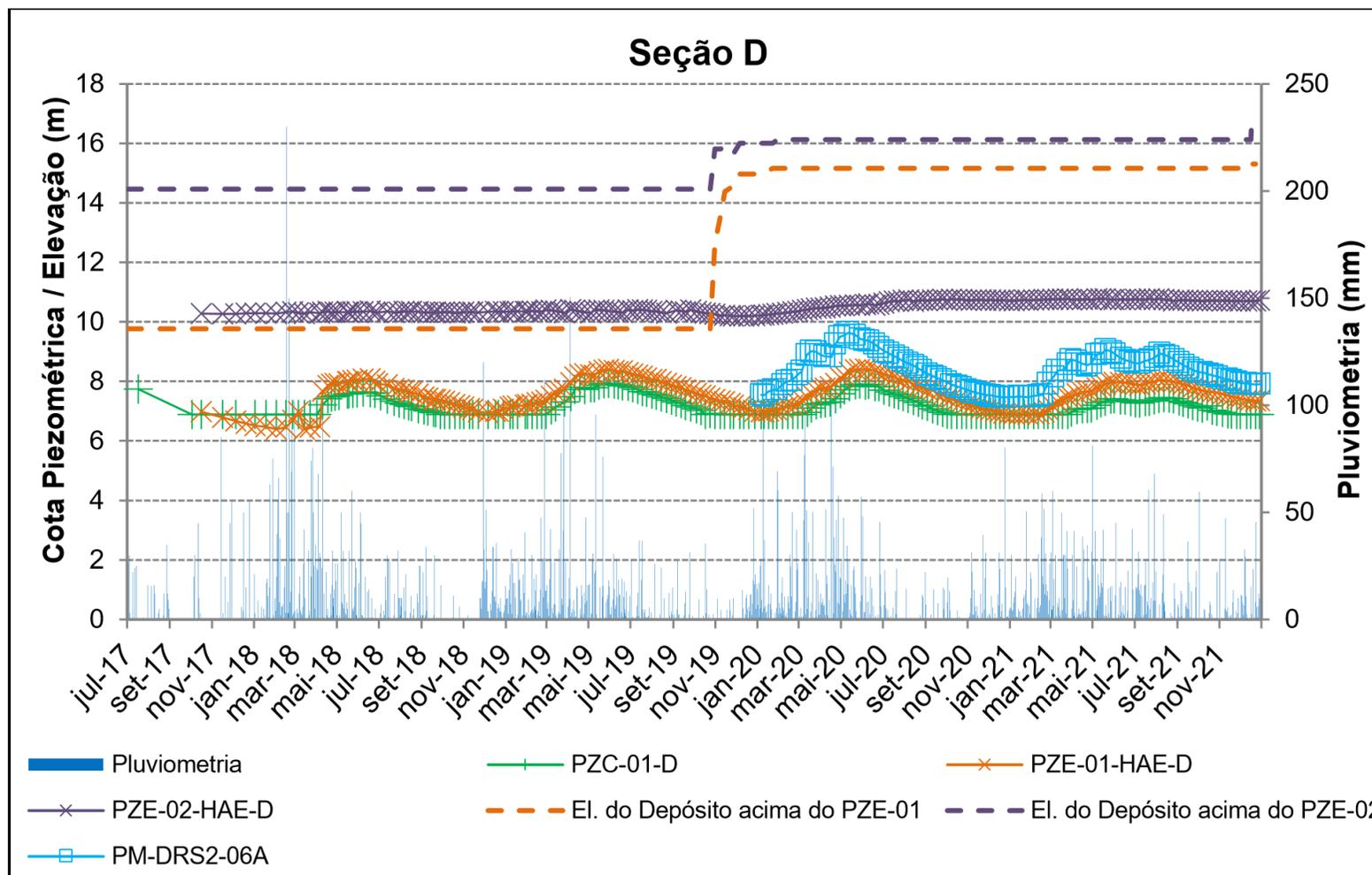


Figura 7.14 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção D (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção E:

A Figura 7.15 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção E. A Figura 7.16 apresenta a Seção E com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.17 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção E.

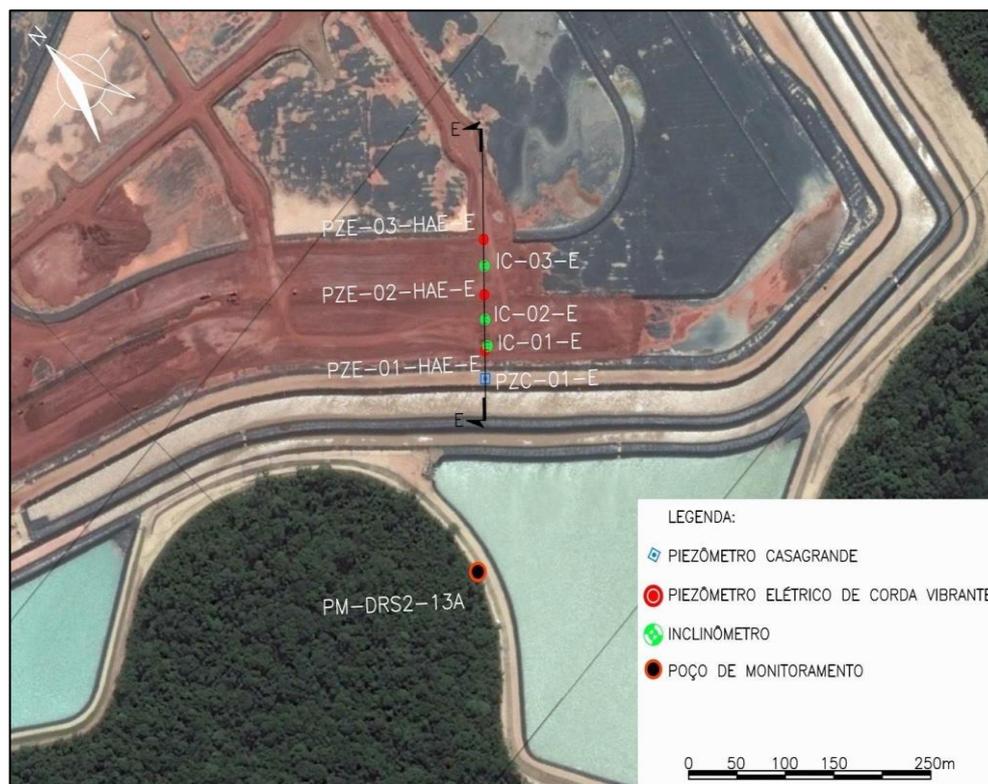


Figura 7.15 – Locação em planta da instrumentação instalada na Seção E (PIMENTA DE AVILA, 2021)

Como se pode observar na Figura 7.17, no geral, as leituras dos piezômetros da Seção E sofreram pouca influência das precipitações. Observou-se oscilações em função das precipitações apenas no PZE-01-HAE-E, com amplitude inferior a 50 cm. A cota de fundo deste instrumento se encontra na El. 7,55 m. Já o PZC-01-E, instalado na crista do dique de contorno, com cota de funda na El. 7,50 m, permaneceu seco no período analisado (a partir de julho/2017) e o PZE-02-HAE-E apresentou uma mudança de comportamento a partir de setembro/2019. Este instrumento apresentava leituras negativas com baixos valores de sucção e, desde então vem apresentando leituras positivas que estão

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

aumentando gradativamente. Neste contexto, PIMENTA DE AVILA solicitou à Hydro a substituição do PZE-02-HAE-E por outros dois piezômetros elétricos (PZE's).

O piezômetro PZE-03-HAE-E apresentava leituras negativas (sucção), com até -1,10 m.c.a., quando suas leituras foram iniciadas em outubro/2017. No entanto, se observou uma elevação gradativa até março/2021, porém, desde então, a taxa de crescimento da carga piezométrica se elevou consideravelmente. Como esse comportamento se iniciou antes do alteamento da pilha, em setembro/2021, não aparenta representar o desenvolvimento de poropressões construtivas. Conforme indicado pela PIMENTA DE AVILA (2022), não é possível substituir o instrumento por causa da presença de geomembrana no dique de contorno da zona interna, portanto, o comportamento desse instrumento e dos demais instrumentos instalados na seção deverão ser avaliados a longo prazo.

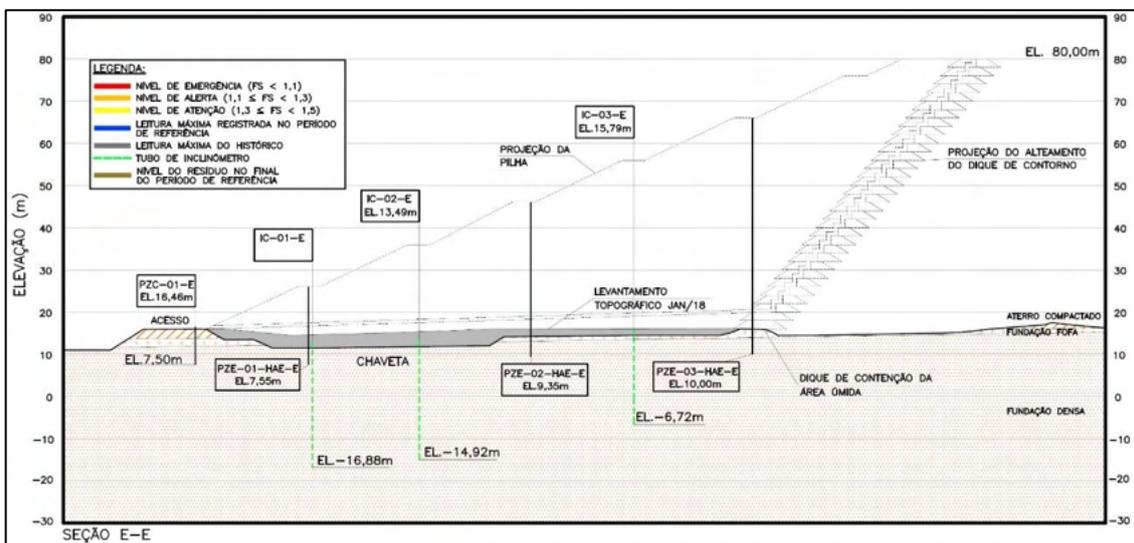
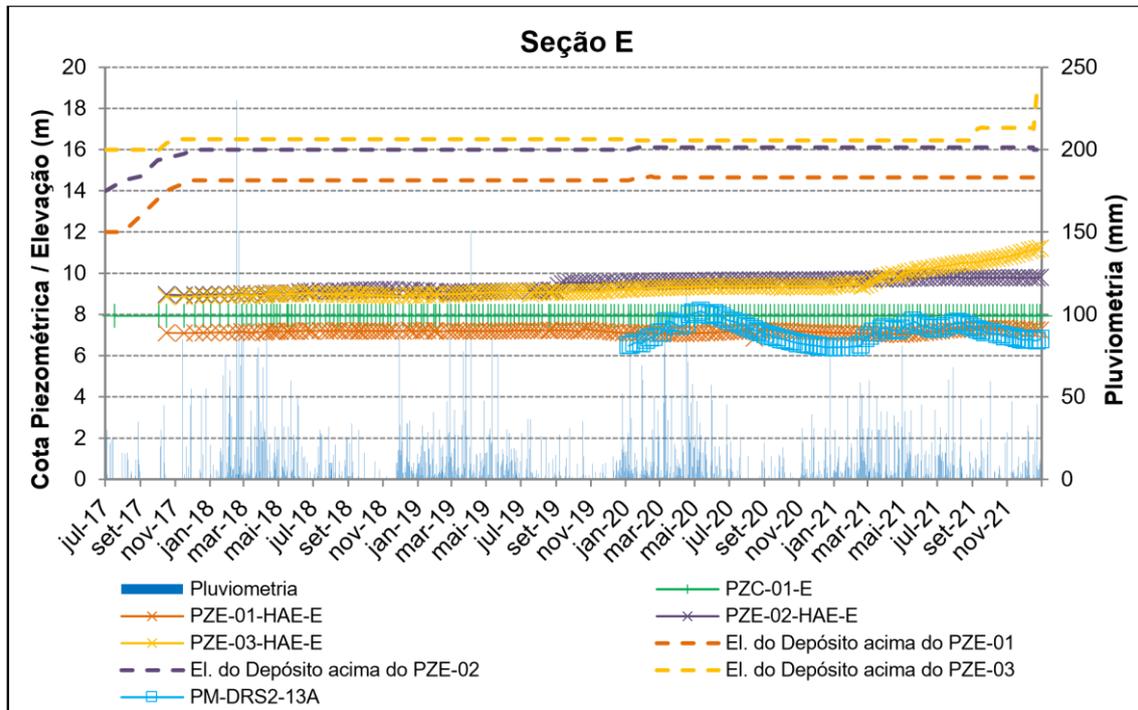


Figura 7.16 – Seção E com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Figura 7.17 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção E (PIMENTA DE AVILA, 2022)
Seção F:

A Figura 7.18 apresenta a localização em planta dos instrumentos próximos à Seção F. A Figura 7.19 apresenta a Seção F com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.20 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção F.

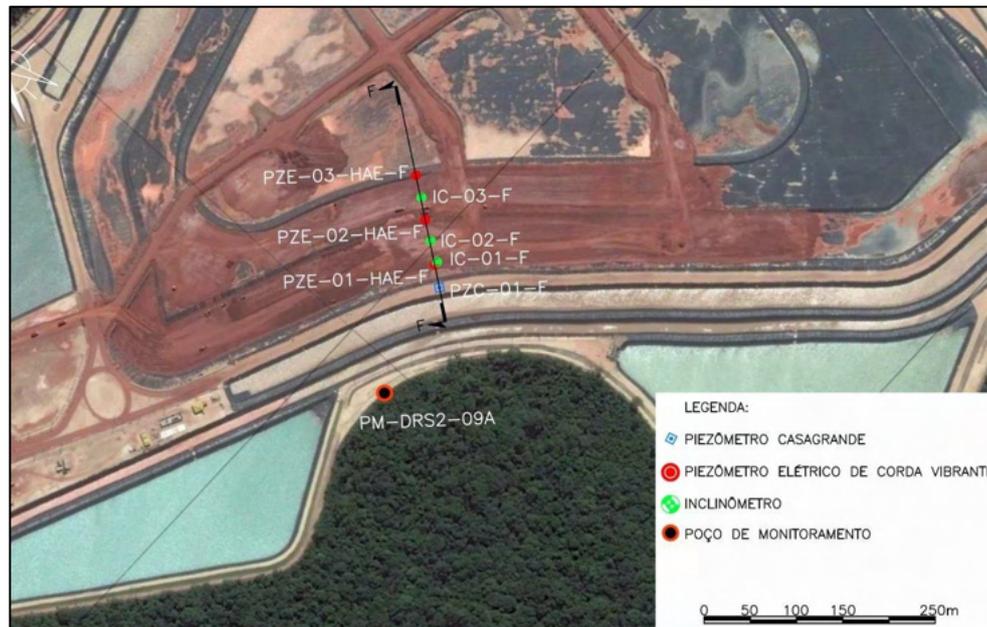
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


Figura 7.18 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção F (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.20, os piezômetros da Seção F sofrem pouca influência das precipitações, diferentemente do poço de monitoramento PM-DRS2-09A, que apresentou oscilações em suas leituras em função das precipitações. Observa-se que o PZC-01-F, instalado na crista do dique de contorno, permaneceu seco no período analisado. Este instrumento possui cota de fundo na El. 7,50 m, acima do nível d'água máximo registrado na PM-DRS2-09A, na El. 6,70 m.

O PZE-01-HAE-F, instalado próximo à borda do depósito DRS2, com cota de base na El. 7,55 m, tem apresentando leituras negativas (sucção), com carga piezométrica entre -1 e 0 m.c.a. No entanto, a partir de julho/2021, verifica a acentuação na redução de suas leituras, atingindo-se -2,23 m.c.a., correspondente a um nível piezométrico na El. 5,32 m. Conforme observado pela PIMENTA DE AVILA (2022), o comportamento do PZE-01-HAE-F é coerente com o nível d'água registrado no PM-DRS2-09A. No dia 29/12/21, o PZE-01-HAE-F registrou nível piezométrico na El. 5,89 m e o PM-DRS2-13A registrou nível d'água na El. 6,72 m.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Os piezômetros PZE-02-HAE-F e PZE-03-HAE-F, instalados mais a montante da Seção F, apresentaram leituras próximas a cota de fundo dos instrumentos (nulas). Isso pode ser justificado pela posição da cota de fundo do PZE-02-HAE-F e do PZE-03-HAE-F (El. 10,00 m, em ambos) que se encontram acima do nível d'água máximo registrado na PM-DRS2-09A, na El. 6,70 m.

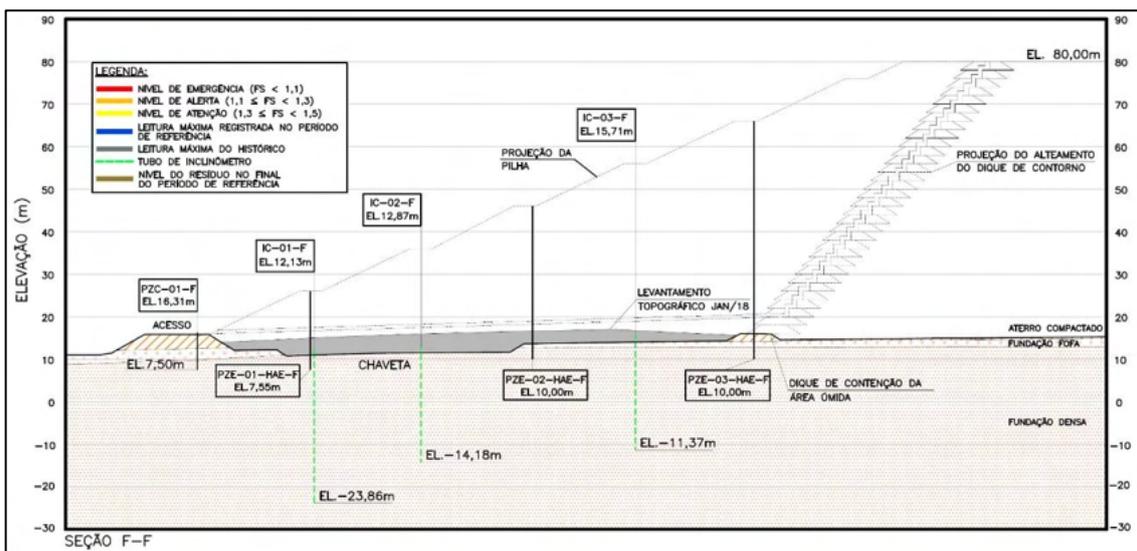


Figura 7.19 – Seção F com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

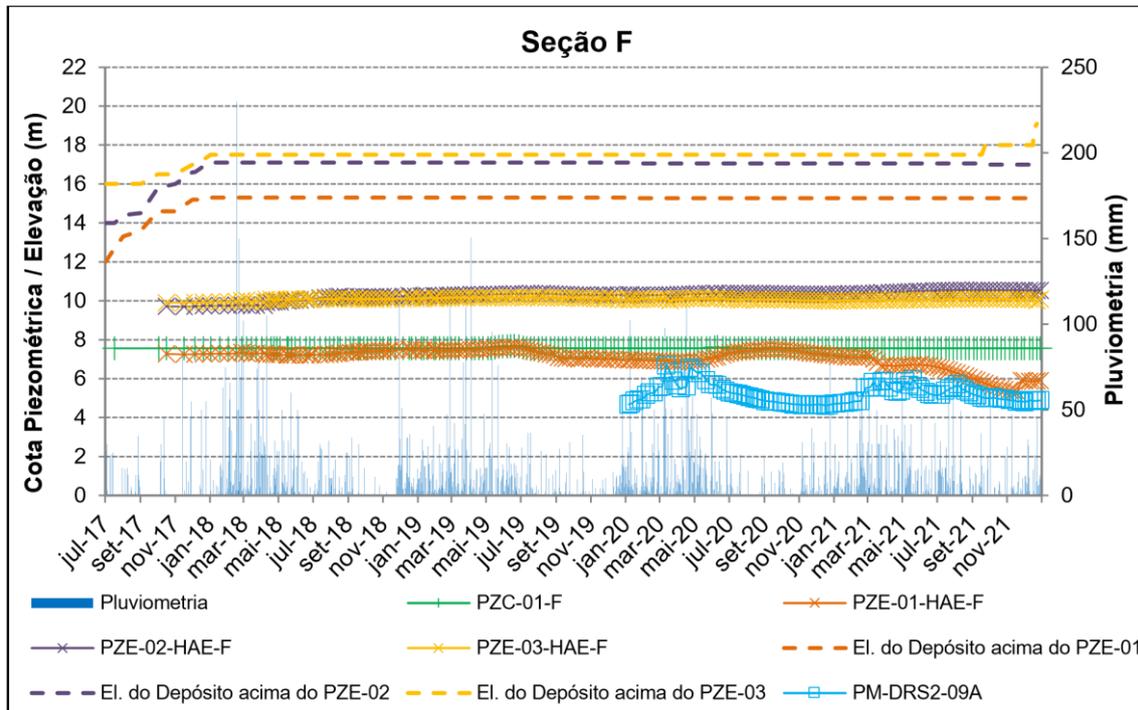
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


Figura 7.20 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção F (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção G:

A Figura 7.21 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção G. A Figura 7.22 apresenta a Seção G com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.23 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção G.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

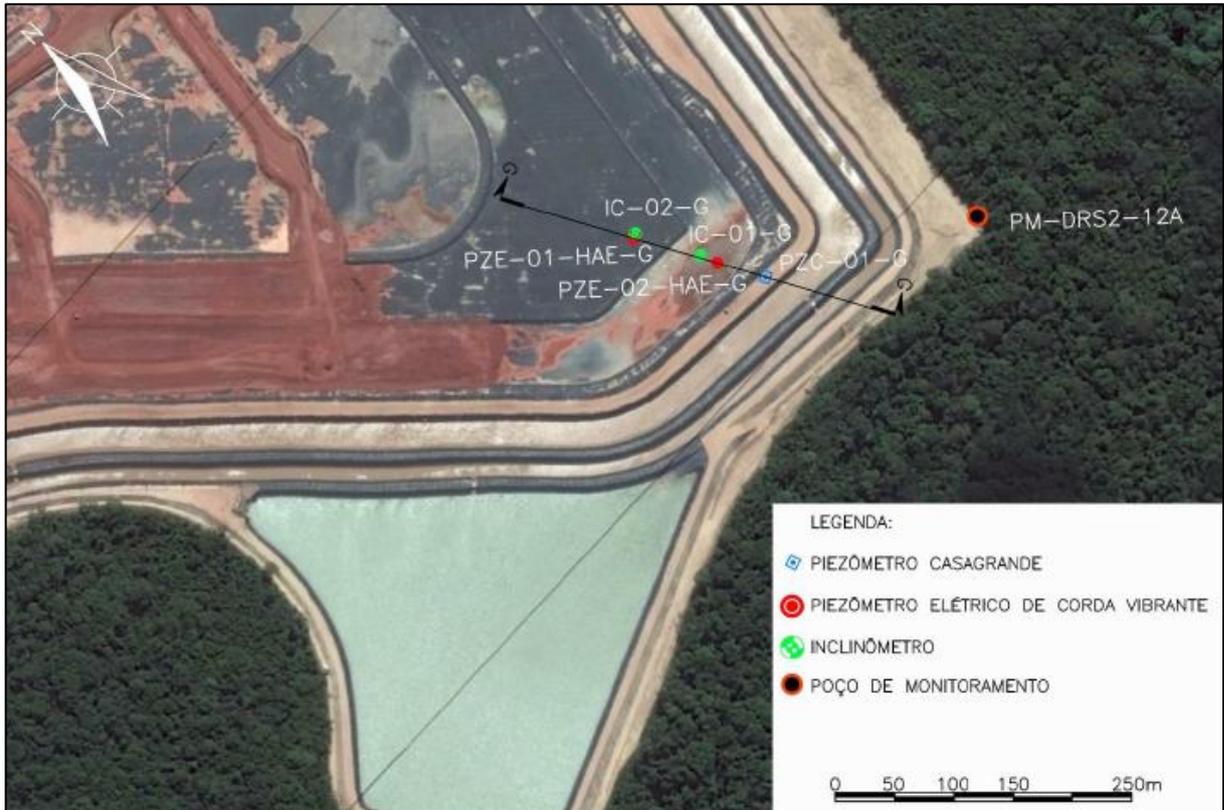


Figura 7.21 – Localização em planta da instrumentação instalada na Seção G (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.23, o PZC-01-G, instalado na crista do dique de contorno, permaneceu seco no período analisado. Este instrumento possui cota de fundo na El. 5,45 m, acima do nível d’água máximo registrado na PM-DRS2-12A, na El. 4,62 m.

Os piezômetros PZE-01-HAE-G e PZE-02-HAE-G, instalados mais a montante da Seção G, apresentaram carga piezométrica negativa durante todo o período analisado (entre outubro/2017 e dezembro/2021). Isso pode ser justificado pela posição da cota de fundo do PZE-02-HAE-F e do PZE-03-HAE-F (El. 10,00 m, em ambos), que se encontram acima do nível d’água máximo registrado na PM-DRS2-12A, na El. 4,62 m.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

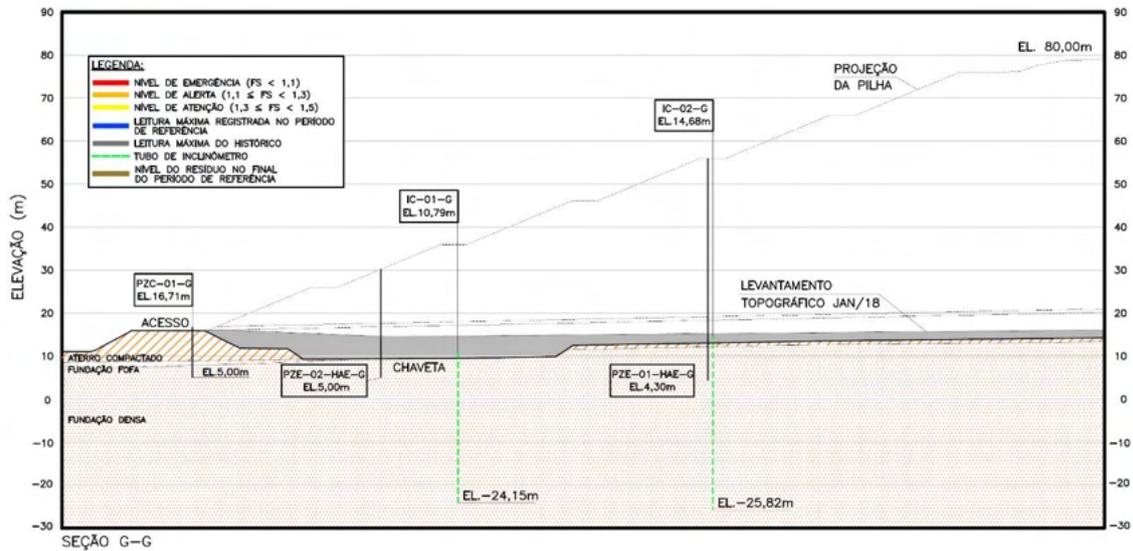


Figura 7.22 – Seção G com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

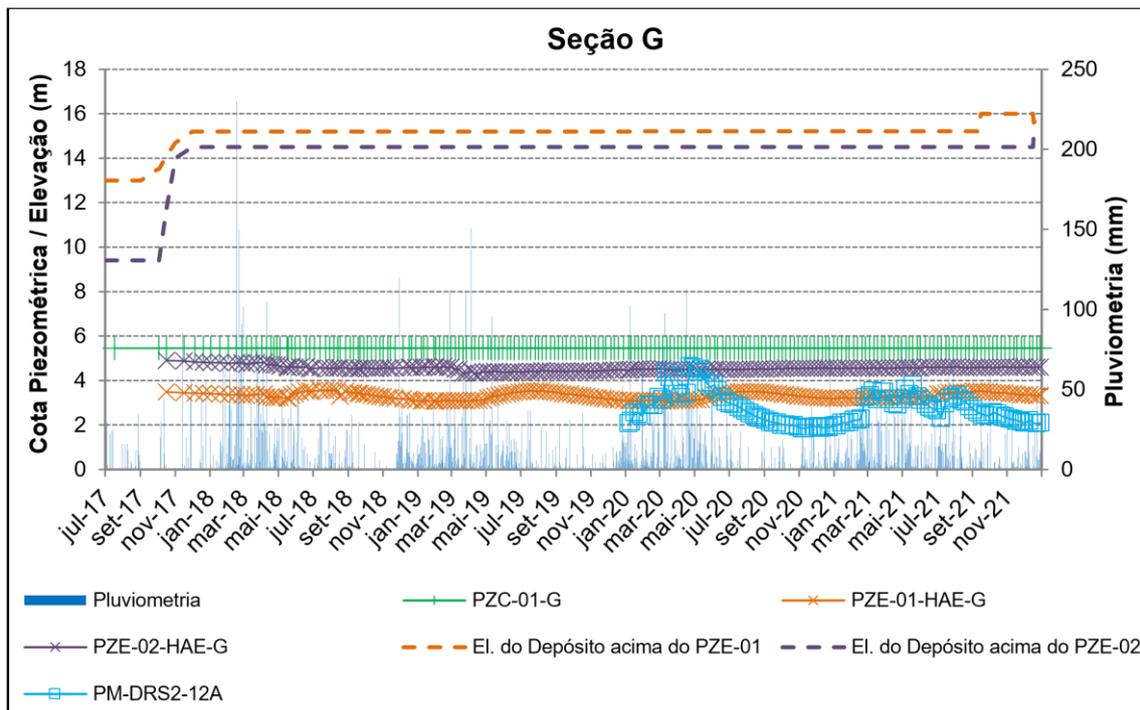


Figura 7.23 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção G (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção BC-201-A:

Além das seções do depósito DRS2, foram avaliadas as duas seções das bacias de controle que apresentam dois piezômetros Casagrande e um marco superficial em cada.

A Figura 7.24 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção BC-201-A. A Figura 7.25 apresenta a Seção BC-201-A com a indicação das leituras máximas históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.26 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção BC-201-A. Além disso, na Figura 6.23 também apresenta a locação em planta da instrumentação da Seção BC-201-A.



Figura 7.24 – Locação em planta da instrumentação da Seção BC-201-A (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.23, o nível d'água da Bacia BC-201 se encontra significativamente mais elevado do que o nível piezométrico registrado no PZC-02. No dia 29/12/21, a Bacia BC-201 se encontrava na El. 11,63 m e o PZC-02, na El. 6,45 m, representando uma diferença superior a 5,0 m. Tendo em vista que o nível d'água se encontra mais elevado na Bacia BC-201 do que no Dique de Contorno, é possível afirmar que há estanqueidade da geomembrana PEAD que a Bacia BC-201.

O piezômetro PZC-01, cuja cota de fundo se encontra na El. 10,22 m permaneceu seco em todo o período analisado (a partir de novembro/2020), exceto nos meses de maio a

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

julho/2021 quando registrou leituras próximas a cota de fundo, atingindo a El. 10,30 cm (aumento de 0,08 m).

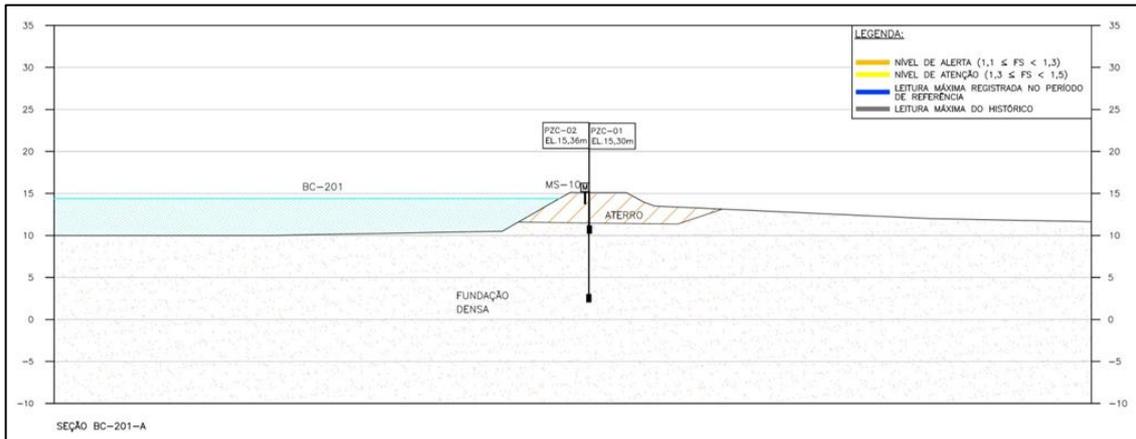


Figura 7.25 – Seção BC-201-A com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

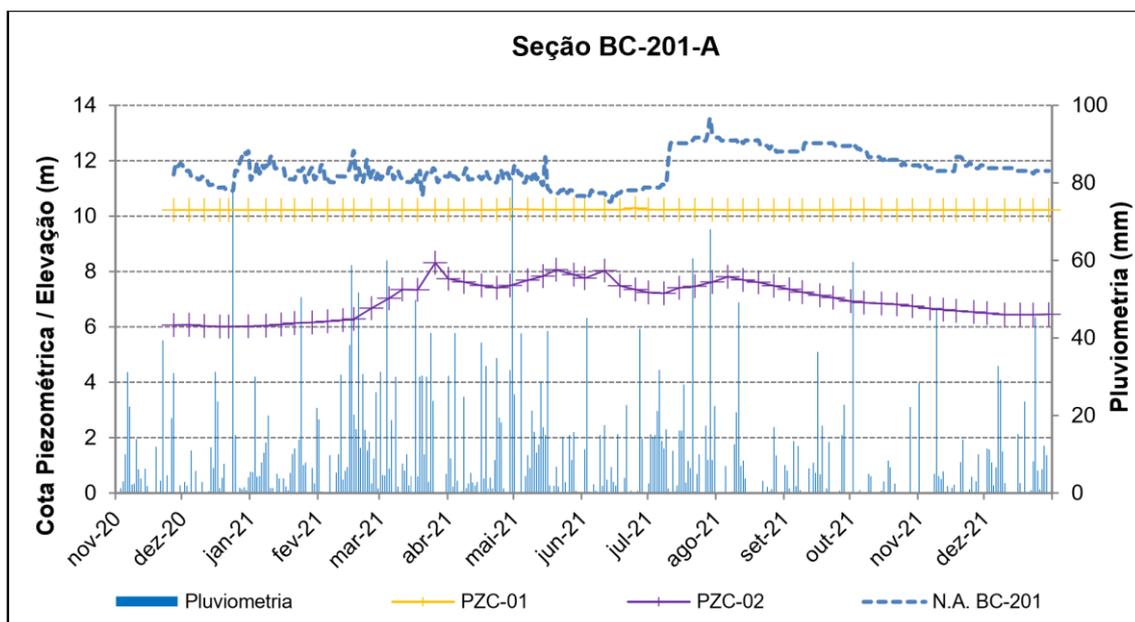


Figura 7.26 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção BC-201-A (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Seção BC-202-B:

A Figura 7.27 apresenta a locação em planta dos instrumentos próximos à Seção BC-202-B. A Figura 7.28 apresenta a Seção BC-202-B com a indicação das leituras máximas

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

históricas e leituras máximas e mínimas no período (outubro a dezembro/2021). Já a Figura 7.29 apresenta o gráfico com o histórico das leituras dos instrumentos da Seção BC-202-B.

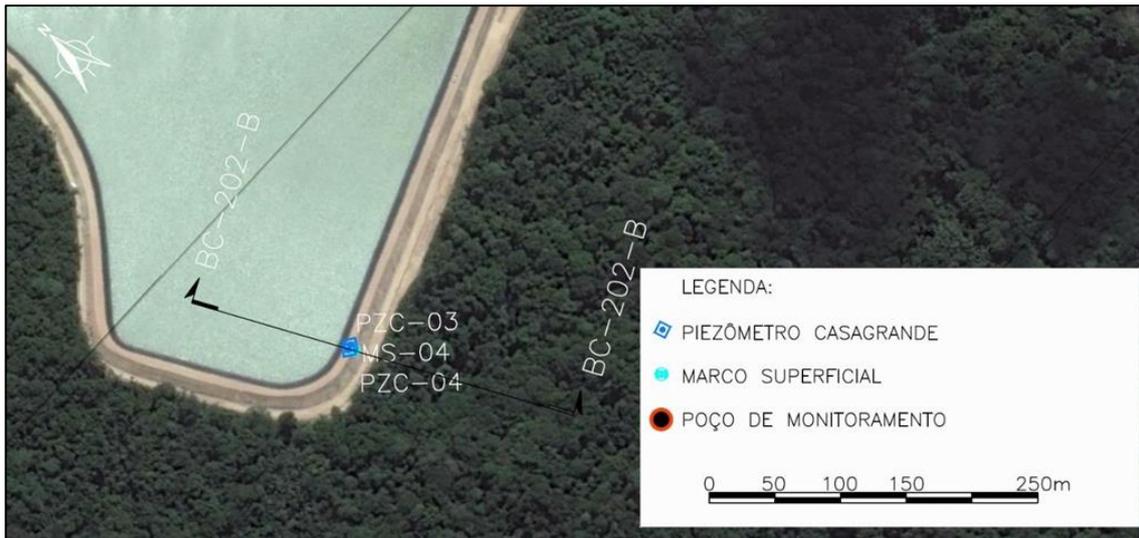


Figura 7.27 – Localização em planta da instrumentação da Seção BC-202-B (PIMENTA DE AVILA, 2022)

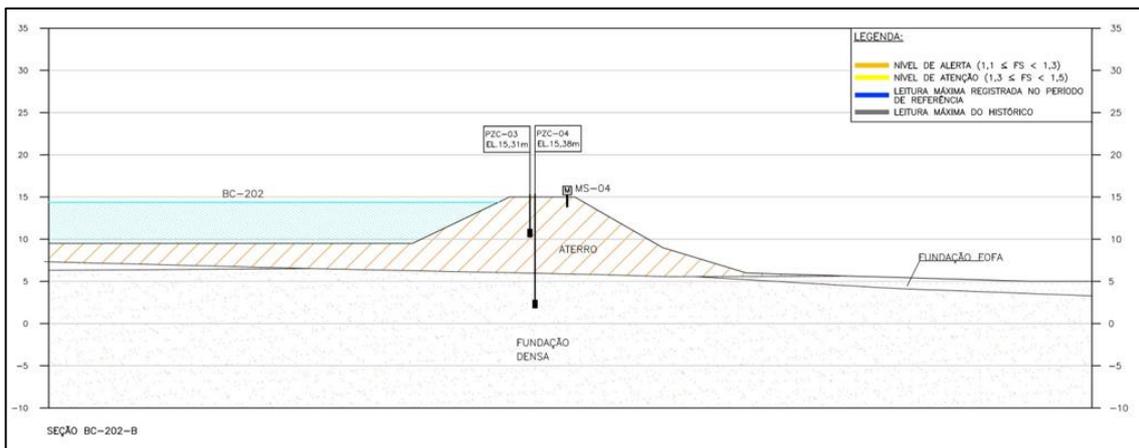


Figura 7.28 – Seção BC-202-B com indicação das leituras dos instrumentos (PIMENTA DE AVILA, 2022)

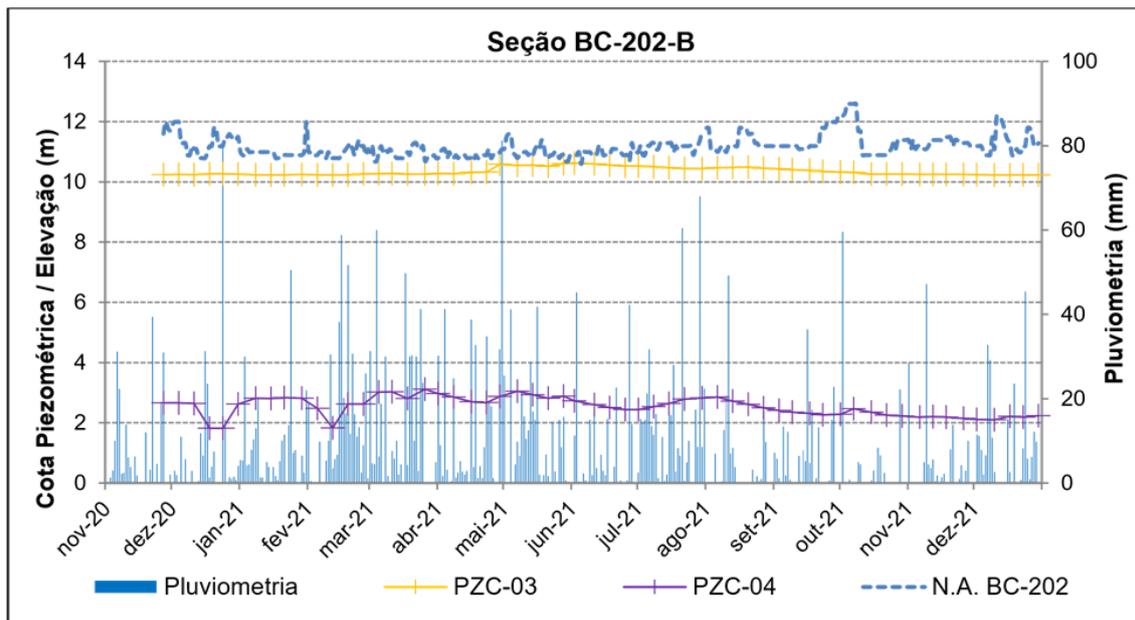
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


Figura 7.29 – Gráfico com o histórico de leituras da Seção BC-202-B (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Como se pode observar na Figura 7.29, o nível d'água da Bacia BC-202 se encontra significativamente mais elevado do que o nível piezométrico registrado no PZC-04. No dia 29/12/21, a Bacia BC-202 se encontrava na El. 11,19 m e o PZC-04, na El. 2,24 m. Tendo em vista que o nível d'água se encontra cerca de 9,0 m mais elevado na Bacia BC-202 do que no Dique de Contorno, é possível concluir pela estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste a Bacia BC-202.

No entanto, o piezômetro PZC-03, cuja cota de fundo se encontra na El. 10,23 m, começou a registrar leituras a partir de fevereiro/2021. A carga piezométrica máxima do instrumento foi registrada em 14/05/21, de 0,40 m.c.a. Desde então, as leituras estão decrescendo e, a partir do dia 10/12/21, o instrumento se manteve seco. Como não era esperada leitura no PZC-03, a HYDRO realizou, sob orientação da PIMENTA DE AVILA, a coleta de amostra de efluente do interior do tubo para verificação do pH e realização de um teste de esgotamento do instrumento para aferir a possibilidade de saturação da região ou acúmulo de água no tubo.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Conforme indicado no doc. RT-3541-54-G-485, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2022), o resultado do teste de pH indicou um pH igual a 4,98 (ácido), não característico do efluente de resíduo de bauxita do interior da bacia, de pH básico. Concluindo-se que a água ensaiada pelo PZC-03 é proveniente da superfície e corresponde a uma região saturada. Já o teste de esgotamento do instrumento indicou as cargas piezométricas registradas pelo instrumento antes e após a execução do ensaio foram aproximadamente iguais, evidenciando que na região do entorno do piezômetro ocorre saturação do maciço.

A PIMENTA DE AVILA (2022) acrescenta que na inspeção de campo realizada por sua equipe técnica em 01/07/2021 foi observado ponto baixo próximo à projeção do instrumento, na região do acesso periférico. Acredita-se que neste local baixo, houve acúmulo de água durante o período chuvoso, resultando na saturação local e recarga superficial do instrumento. Embora o PZC-03 tenha permanecido seco após o dia 10/12/21, a PIMENTA DE AVILA recomenda que seja avaliada a correção da declividade superficial do acesso periférico nas adjacências da Bacia BC-202 para evitar/reduzir empoçamentos futuros na região, bem como o revestimento do acesso em laterita.

7.3 AVALIAÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE

Assim como apresentado no item 5.4, o sistema de proteção e condução das águas pluviais do DRS2 é formado por dois canais de contorno associados a duas bacias de controle denominadas BC 201 e BC 202.

No projeto detalhado do DRS2 (Fase 1) foram dimensionados 5 tipos de dispositivos extravasores (rápidos), sendo 3 com *stop log* (Tipos 1, 3 e 5) e 2 sem *stop log* (Tipos 2 e 4). Estes extravasores são localizados entre o canal de contorno interno e externo, e entre o canal de contorno externo e as bacias de controle, conforme ilustrado na Figura 7.30. A presença ou ausência de *stop log* é definida de acordo com a maior necessidade de clarificação do efluente e da etapa de disposição de resíduos sobre o depósito.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

A água vertida pelos dispositivos extravasores é direcionada por meio dos canais de contorno para as bacias de controle (BC 201 e BC 202). De lá, por meio de uma estação de bombeamento, o efluente é direcionado para estação de tratamento de efluentes industriais, na área 82.

Conforme o Manual de Operação, para classificação dos níveis de risco de falha do sistema, foram definidos 3 níveis de risco, associados ao nível de água máximo atingido durante as simulações nas bacias de controle, em função da existência de uma borda livre remanescente mínima de 1,0 m. A Tabela 7.4 apresenta a definição de cada um desses níveis de risco, e deve ser utilizada como referência na análise das diretrizes apresentadas na Tabela 7.5 e Tabela 7.6.

Tabela 7.4 – Níveis de risco considerados para avaliação do sistema

Nível	Definição
Verde	Ocupação final do reservatório inferior a correspondente a uma altura de 1,5 m em relação a crista
Amarelo	Ocupação final do reservatório correspondente entre 1,5 m e 1,0 m em relação a crista
Vermelho	Ocupação final do reservatório superior a borda livre mínima de 1,0 m, durante o evento chuvoso (risco de transbordo)

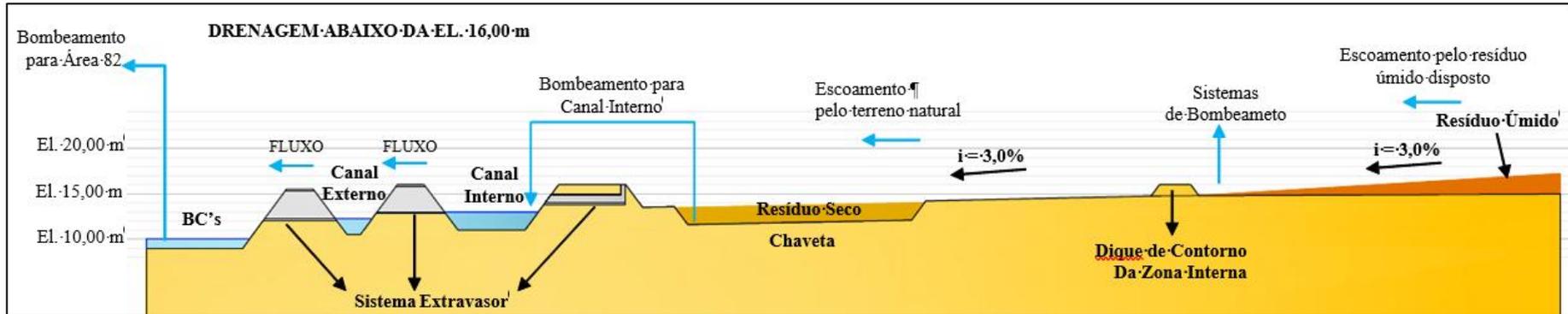
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


Figura 7.30 – Etapa operacional da drenagem superficial: início da operação e abaixo da EL. 16,00 m (PIMENTA DE ÁVILA, 2021).

Para operação do sistema de bombeamento das bacias de controle, a HYDRO utiliza como critério de monitoramento, o valor em percentual, definido pela relação entre a altura do nível de água e a altura total de cada reservatório, por exemplo, 10% de ocupação em cada bacia podem representar alturas diferentes em bacias com alturas diferentes. A Tabela 7.5 e Tabela 7.6 apresentam o bombeamento mínimo das bacias de controle recomendados pela Pimenta de Ávila (2021) no manual de operação (OM-3541-54-G-282 R08). A projetista ressalta que os reservatórios não devem operar sob as condições que submetam à categoria vermelha (borda livre inferior a 1,0m).

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Tabela 7.5 – Bombeamento mínimo em (m³/h) da bacia de controle BC-201 atingir a borda livre de 1 m ou superior em função do volume precipitado e do nível de ocupação inicial do reservatório (PIMENTA DE ÁVILA, 2021).

		Nível de Água (m)	Altura de Chuva (mm) – Duração de 24 h										
			35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385
Nível de Água Inicial (%)	10%	10,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20%	10,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30%	11,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40%	11,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.550
	50%	12,25	0	0	0	0	0	0	0	0	775	1.550	1.550
	60%	12,80	0	0	0	0	0	0	775	1.550	1.550	1.550	1.550
	70%	13,35	0	0	0	0	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	80%	13,90	0	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	90%	14,45	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
		Nível de Água (m)	Altura de Chuva (mm) – Duração de 3 dias										
			45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495
Nível de Água Inicial (%)	10%	10,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20%	10,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775
	30%	11,15	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550
	40%	11,70	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550
	50%	12,25	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550
	60%	12,80	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550
	70%	13,35	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	80%	13,90	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	90%	14,45	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
		Nível de Água (m)	Altura de Chuva (mm) – Duração de 5 dias										
			55	110	165	220	275	330	385	440	495	550	605
Nível de Água Inicial (%)	10%	10,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775
	20%	10,60	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550
	30%	11,15	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550
	40%	11,70	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550
	50%	12,25	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550
	60%	12,80	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	70%	13,35	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	80%	13,90	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	90%	14,45	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Tabela 7.6 – Bombeamento mínimo em (m³/h) das bacias de controle BC-202 atingir a borda livre de 1 m ou superior em função do volume precipitado e do nível de ocupação inicial do reservatório (PIMENTA DE ÁVILA, 2021).

		Nível de Água (m)	Altura de Chuva (mm) – Duração de 24 h										
			35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385
Nível de Água Inicial (%)	10%	9,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20%	10,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30%	10,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40%	11,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.550
	50%	12,00	0	0	0	0	0	0	0	0	775	1.550	1.550
	60%	12,60	0	0	0	0	0	0	775	1.550	1.550	1.550	1.550
	70%	13,20	0	0	0	0	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	80%	13,80	0	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	90%	14,40	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
		Nível de Água (m)	Altura de Chuva (mm) – Duração de 3 dias										
			45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495
Nível de Água Inicial (%)	10%	9,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20%	10,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775
	30%	10,80	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550
	40%	11,40	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550
	50%	12,00	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550
	60%	12,60	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550
	70%	13,20	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	80%	13,80	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	90%	14,40	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
		Nível de Água (m)	Altura de Chuva (mm) – Duração de 5 d										
			55	110	165	220	275	330	385	440	495	550	605
Nível de Água Inicial (%)	10%	9,60	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775	
	20%	10,20	0	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550
	30%	10,80	0	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550
	40%	11,40	0	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550
	50%	12,00	0	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550
	60%	12,60	0	0	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	70%	13,20	0	0	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	80%	13,80	775	775	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550
	90%	14,40	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550	1.550

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

O Relatório de avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação (PIMENTA DE ÁVILA, 2022; documento RT-3541-54-G-485-R01), apresenta uma análise do monitoramento do N.A. das bacias de controle e dos canais de contorno interno e externo do DRS2, medidas a partir de réguas limnimétricas entre setembro de 2020 e janeiro de 2022. Os resultados do monitoramento são apresentados na Figura 7.31

De acordo com os documentos consultados, elaborados pela consultoria PIMENTA DE ÁVILA, houve a manutenção da borda livre de 1,0m mesmo nos dias de maior incidência pluviométrica. A FONNTES entende que a definição dos níveis de risco e borda livre foi adequada. Entretanto, não se exclui a possibilidade de reavaliação dos níveis de risco sobretudo caso seja identificada de forma recorrente não atendimento à borda livre de 1 metro ao longo de um ano hidrológico.

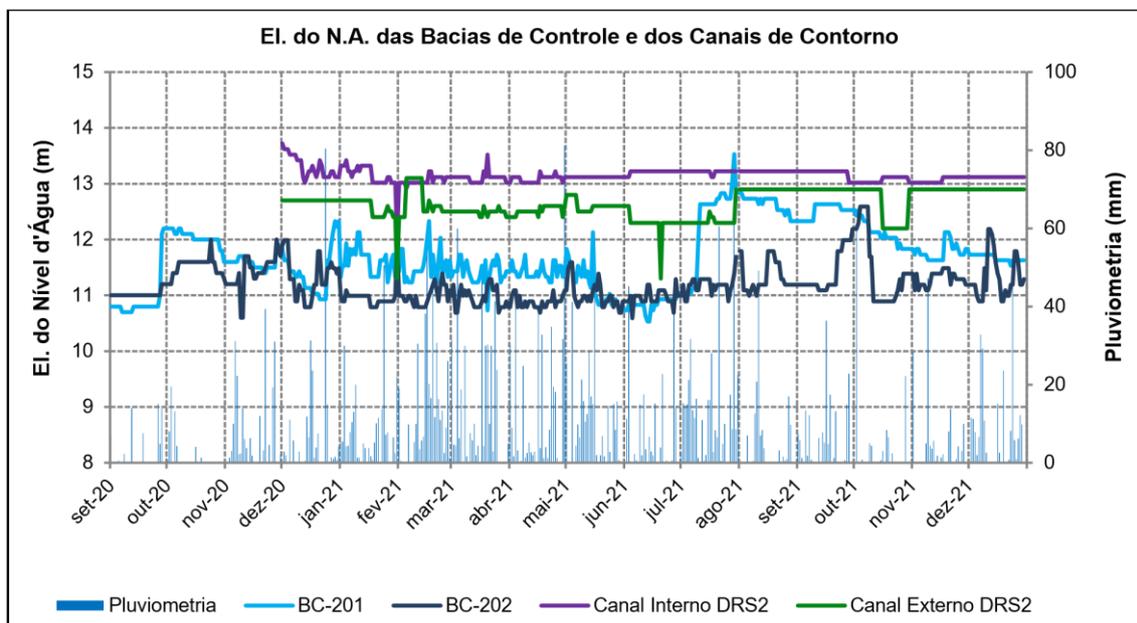


Figura 7.31 – Elevação do N.A. das Bacias e Canais do DRS2 (PIMENTA DE AVILA, 2022)

7.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS POÇOS DE MONITORAMENTO

O Relatório de avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação (PIMENTA DE ÁVILA, 2022), apresenta o monitoramento de nível d'água realizados pelos 13 poços de monitoramento existentes ao redor do DRS2. A Figura 7.32 apresenta o histórico da elevação do nível d'água observado nos poços. Nota-se uma tendência de decréscimo gradual entre os meses de outubro e novembro, seguido de um leve acréscimo ou estabilização nas leituras durante o mês de dezembro.

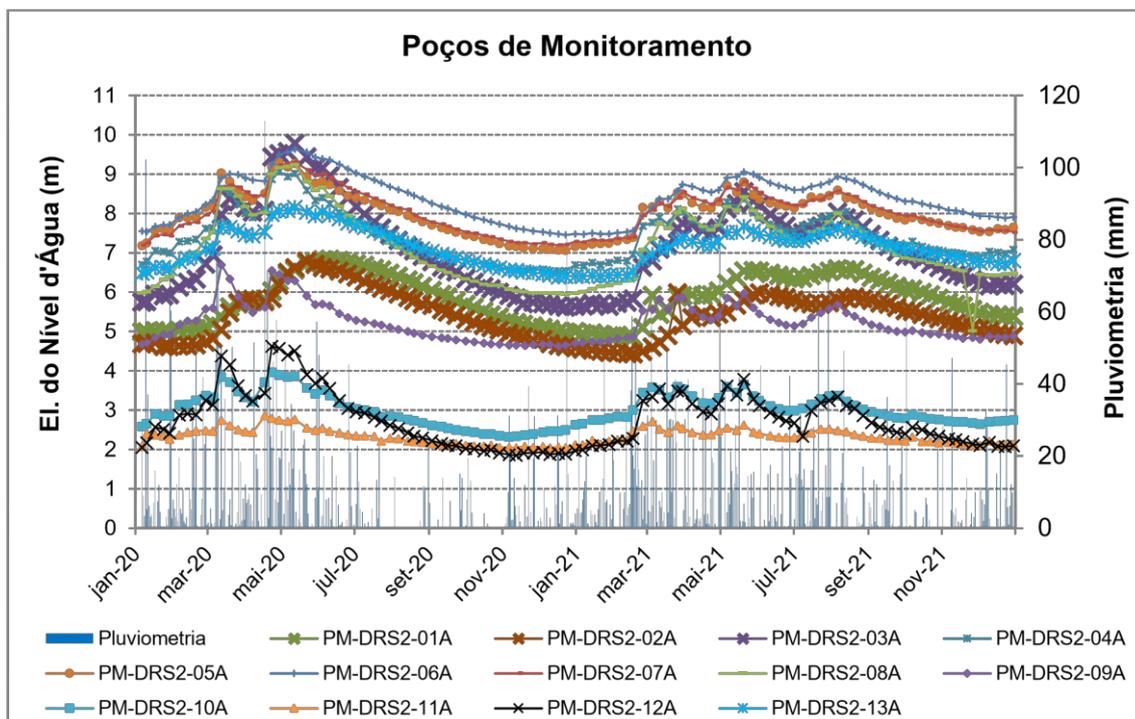


Figura 7.32 – Histórico de leituras do N.A. nos poços de monitoramento adjacentes ao DRS2 (PIMENTA DE AVILA, 2022)

Os níveis de água observados nos poços de monitoramento são condizentes com a pluviometria como era de se esperar em uma situação normal. A análise apenas do nível freático não é capaz de sugerir se ocorre contaminação devido a falha do sistema de impermeabilização. Por isso são analisados também nesses 13 poços adjacentes ao DRS2 os parâmetros de qualidade presentes na lista do art. 34 da resolução CONAMA 396/2008. A localização dos poços em relação ao DRS2 é apresentada na Figura 7.14.



Figura 7.33 – Localização dos poços de monitoramento

É de conhecimento que o DRS2 é dotado de um sistema de impermeabilização com geomembrana PEAD de espessura de 1,5 mm, do modo a evitar contaminações associadas à deposição de resíduos, entretanto, faz-se necessário que haja monitoramento periódico das águas subterrâneas, a fim de avaliar qualquer possível não conformidade que poderia estar condicionada a uma falha no sistema de impermeabilização.

Em relação à concentração (em $\mu\text{g/L}$) de metais e outros elementos dissolvidos nas águas captadas pelos poços de monitoramento, cujo resultado foi apresentado através do documento “Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS”, é possível observar que existem não conformidades nos valores de Alumínio, Ferro, Chumbo, Cloro Residual Total, Coliformes Termotolerantes, PH in situ, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli e Oxigênio Dissolvido (CONAMA 396).

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

Os parâmetros de Escherichia coli e Coliformes Termotolerantes indicam contaminação por fezes de animais com sangue quente, como animais selvagens ou por esgotos domésticos. Ademais, valores baixos de oxigênio dissolvido corroboram para a hipótese de existência de matéria orgânica em decomposição nas águas subterrâneas. Desta forma, não há evidências que indiquem que a variação destes parâmetros decorra das atividades essencialmente industriais da HYDRO.

Visando ilustrar os dados recebidos, apresenta-se abaixo os gráficos com o limite máximo permitido pela CONAMA 396 para consumo humano dos seguintes elementos: Alumínio (Al – Figura 7.34); Ferro (Fe – Figura 7.35); e Chumbo (Pb – Figura 7.36) e os valores obtidos entre os anos de 2021 e 2022 pelo monitoramento realizado pela HYDRO, ALUNORTE. Ressalta-se que os limites para consumo humano admitidos pela resolução CONAMA 396/2008 são de 200 µg/l (alumínio); 300 µg/l (ferro) e 10µg/l (chumbo). Adicionalmente, os resultados tabelados para estes três elementos são apresentados no ANEXO A.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

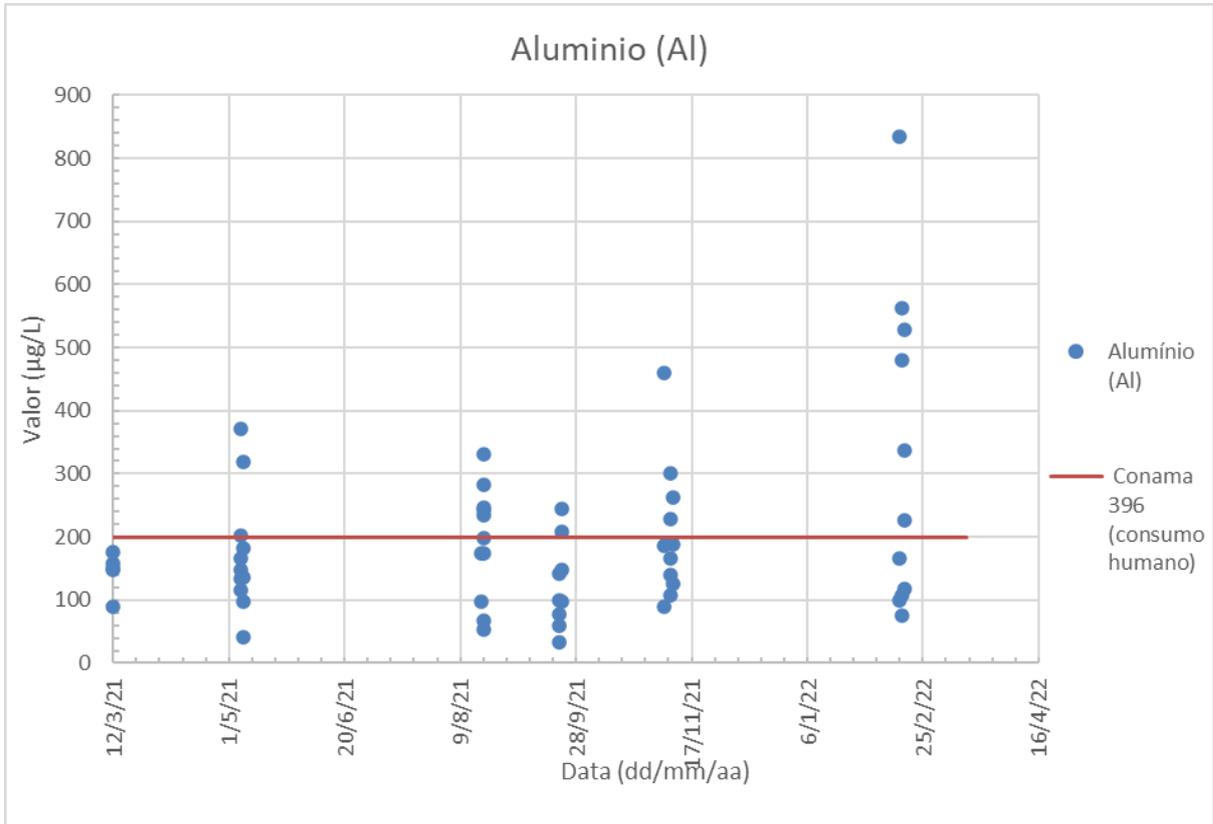


Figura 7.34 – Concentração de alumínio identificada no monitoramento entre 2021 e 2022

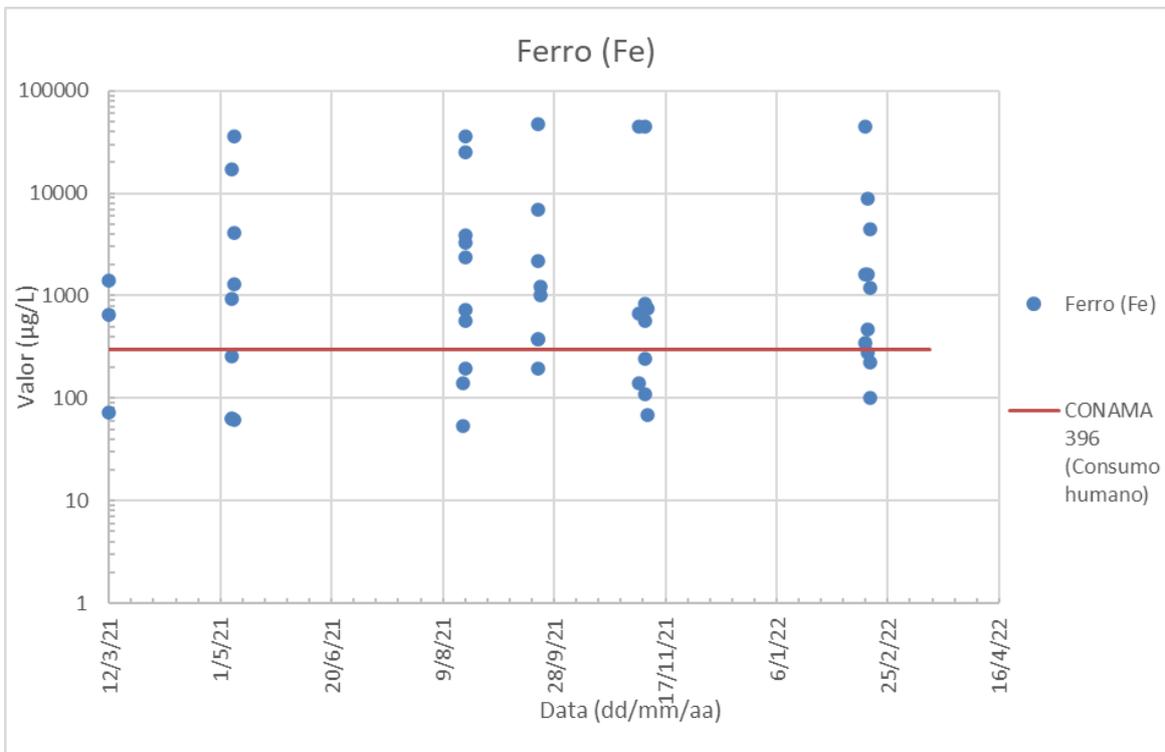


Figura 7.35 – Concentração de ferro identificada no monitoramento entre 2021 e 2022

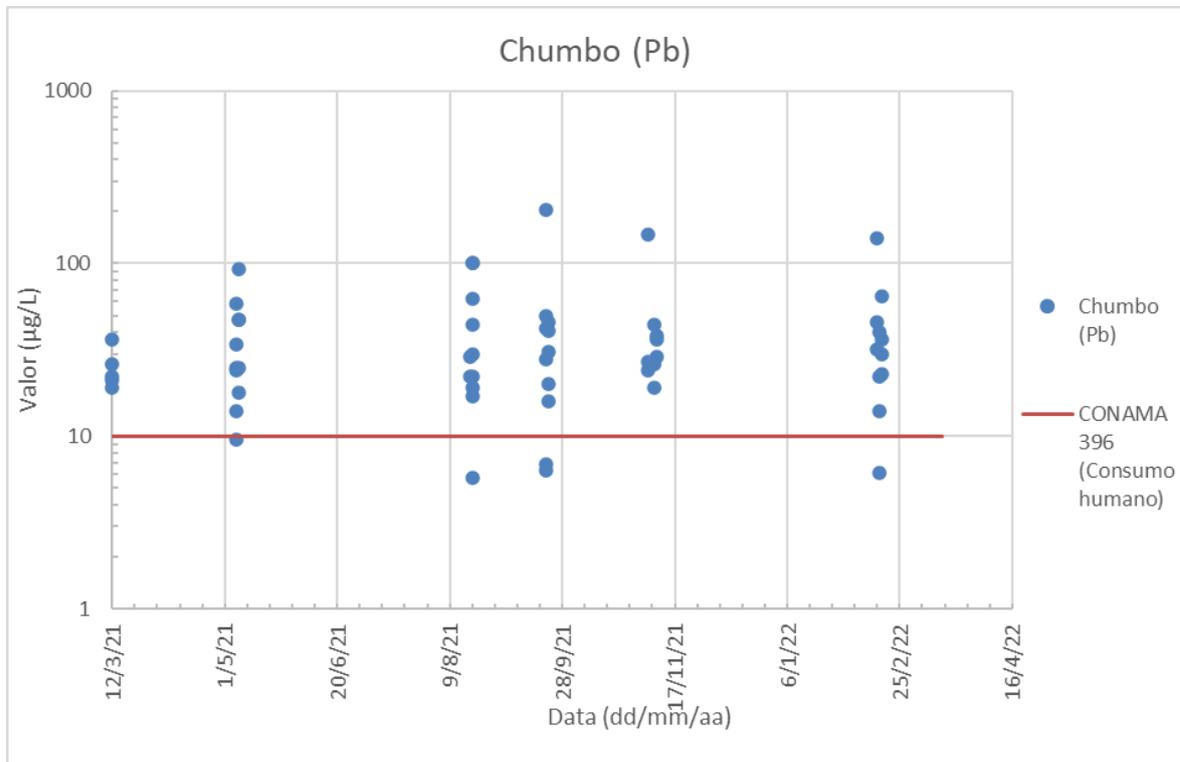
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2


Figura 7.36 – Concentração de chumbo identificada no monitoramento entre 2021 e 2022

Para um parecer mais assertivo com relação aos altos valores de Alumínio, Chumbo e ferro encontrados em amostras de água coletadas nos poços de monitoramento, é preciso elucidar sobre a química constituinte das rochas e solos existentes na região. Segundo o estudo desenvolvido em 2003 pela Embrapa “Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Barcarena, Estado do Pará”, a área do empreendimento encontra-se sobre domínios de solos discretizados como ARGISSOLO AMARELO e ARGISSOLO VERMELHO AMARELO.

Pelo intemperismo extremo e extensa lixiviação a qual são submetidos esses solos, muitas vezes apresentam-se esgotados de suas bases trocáveis, tendo os pontos de troca ocupados predominantemente por H^+ e Al^{+++} extraível (Coleman e Thomas, 1967), por isso é de se esperar alta saturação de alumínio (em torno de 80%).

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Segundo o “Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA” desenvolvido em 2020 pelo LAGECO (Laboratório de Geologia Costeira) e IECOS (Instituto de Estudos Costeiros da UFPA), o clima equatorial quente e úmido proporciona um solo laterítico, pobre de elementos móveis e naturalmente enriquecidos em óxidos e hidróxidos de Ferro e Alumínio, sílica, além de pHs ácidos, devido à alta concentração de matéria orgânica dissolvida. A Figura 7.37 apresenta o perfil de intemperismo da região, retirado do documento supracitado.

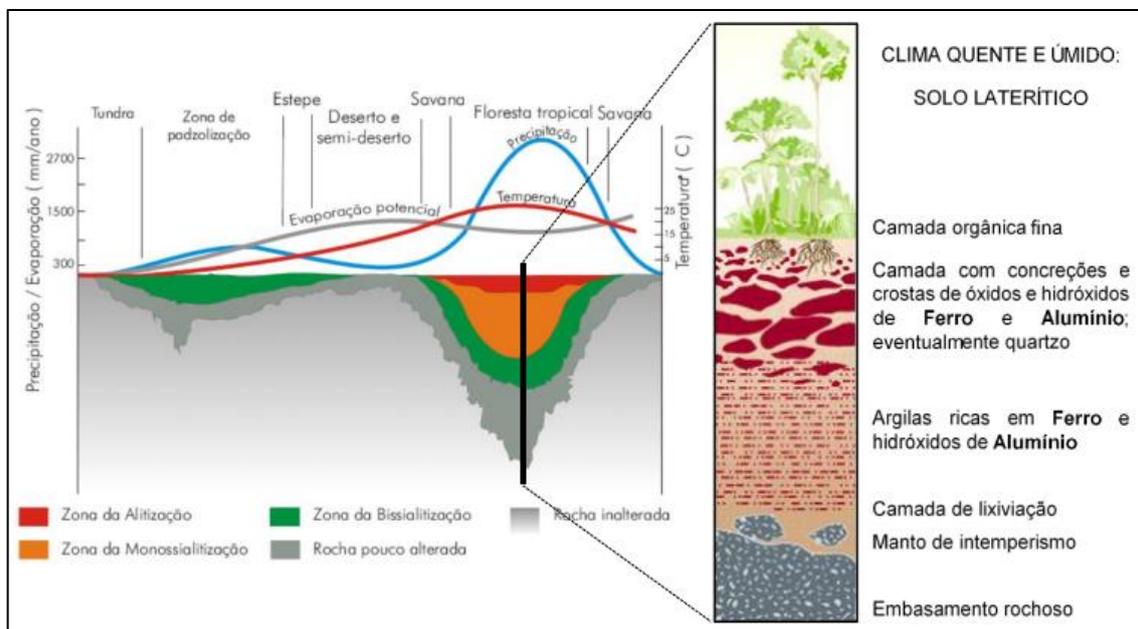


Figura 7.37 - Perfil geológico de solo laterítico típico para a região de estudo (Fonte: LAGECO e IECOS, 2020)

Os resultados dos parâmetros de PHs *in situ* apresentaram valores variando entre 2,66 (em 15/02/2022) a 9,39 (em 21/10/2021), ou seja, variando desde ácido a alcalino. Essa variação pode ser explicada pela influência do ciclo de marés, ciclo de precipitações, atividades industriais próximas e natureza do solo da região.

Segundo o “Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA” desenvolvido em 2020 pelo LAGECO (Laboratório de Geologia Costeira) e IECOS (Instituto de Estudos Costeiros da UFPA), o alto teor de Chumbo (Pb) encontrado nas análises podem ser provenientes de causas geológicas naturais, assim como do Ferro (Fe) e do Alumínio (Al)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

que, conforme explicitado, está associado à elevada concentração desses elementos no manto intempérico.

O estudo ressalta que a qualidade da água no entorno da região, principalmente na região da Baía do Marajó, já se encontrava prejudicada em concentrações não só de Chumbo (Pb) e Cádmio (Cd), como também de outros metais como Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobalto (Co), antes da implantação dos depósitos de resíduos sólidos.

Além disso, é de conhecimento da FONNTES que altas concentrações de Chumbo (Pb) podem ter origem em reações de solubilidade de alguns tipos de rochas carbonáticas. Sendo assim, a alta concentração do Chumbo (Pb) na região pode ter condicionantes naturais do próprio solo e embasamento cristalino. Nos solos, a reatividade e a solubilidade das diferentes espécies de Chumbo controlam a biodisponibilidade e a toxicidade desse elemento, portanto a alta concentração de Chumbo (Pb) precisa ser investigada mais a fundo, uma vez que os dados de 1983-85 – período anterior a instalação dos Depósitos de Resíduos DRS1 e DRS2 – já mostravam alterações dos elementos Pb e Mn na região (Lima & Kobayashi, 1988).

7.5 FREQUENCIA DE MONITORAMENTO

Conforme relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2 (documento RT-469137-54-G-0002 R003) elaborado pela GEOCONSULTORIA em fevereiro de 2022, a seguinte frequência do monitoramento dos instrumentos e bacias de controle é adotada:

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

Tabela 7.7 – Frequência das medições dos instrumentos

Instrumento/ medição	Frequência
Níveis das bacias e canais de contorno	Diária
Pluviômetro	Diária
Piezômetros tipo Casagrande	Semanal
Marcos topográficos superficiais	Mensal
Poços de monitoramento das águas subterrâneas*	Trimestral

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas é realizado trimestralmente conforme e-mail enviado pela HYDRO à FONNTES dia 21/04/2022

A interpretação dos dados é responsabilidade da PIMENTA DE ÁVILA que recebe as medições, avalia e trimestralmente emite um relatório de consolidação das medições. Segundo o Manual de Operação (documento RT-3541-54-G-485-R01) estas frequências devem ser entendidas como em situações normais, sendo que sempre que forem identificadas anomalias ou outras ocorrências excepcionais, que resultem em variações acentuadas nas leituras, a frequência deverá ser intensificada.

A FONNTES entende que a frequência de medição dos instrumentos de monitoramento é adequada para situações normais e está de acordo com as recomendações da PIMENTA DE ÁVILA, indicando que as mesmas deverão ser intensificadas caso sejam identificadas anomalias. Ademais, recomenda-se que assim como são emitidos relatórios de avaliação periódica dos resultados de monitoramento da Instrumentação, seja realizada avaliação por especialistas internos ou externos dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas, para detectar possíveis anomalias, com periodicidade a ser acordada entre órgãos fiscalizadores, HYDRO e projetistas.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE FÍSICA

A avaliação dos medidores de nível d'água, piezômetros, poços de monitoramento e nível d'água das Bacias de Controle se baseou no Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação referente a outubro a dezembro/2021, elaborado pela PIMENTA DE AVILA (2022), doc. RT-3540-54-G-581. Também, foi analisado o banco de dados de leitura dos instrumentos disponibilizados pela HYDRO, em fevereiro/2022, nos arquivos "Níveis, Bordas Livres e Elevação das Bacias DRS1_DRS2_82F_2021" e "NK03.01 - PM01-R0 - DRS1". Além disso, foram utilizadas informações do relatório da Inspeção de Segurança Regular do DRS2 (documento RT-469137-54-G-0002 R003) e do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do DRS2 (documento "Resultados Hydro Alunorte 2021 a 2022 DRS2").

Com base na avaliação dos documentos supracitados, verifica-se que a densidade de instrumentação para monitoramento do nível freático / piezométrico do Depósito DRS2 é suficiente para avaliar a capacidade da Geomembrana PEAD em impermeabilizar o contato do depósito com a fundação, os Diques, os Canais e as Bacias.

Em relação aos instrumentos de monitoramento do nível freático / piezométrico do Depósito DRS2, observa-se que, de modo geral, **os piezômetros Casagrande instalados na crista do dique de contorno com cota de fundo abaixo do nível d'água registrado nos poços de monitoramento adjacentes ao DRS2, apresentaram leituras sensíveis às precipitações, com oscilações em suas leituras similares aos poços de monitoramento.**

A variação dos níveis nos piezômetros instalados na fundação do Depósito DRS2 foram coerentes com a oscilação do lençol freático em função da sazonalidade ao longo dos ciclos hidrológicos. Com isso, verifica-se que o carregamento decorrente da disposição

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

de resíduos no DRS2 não evidenciou acréscimos permanentes de poropressões na fundação do depósito.

Já os piezômetros elétricos das seções instalados mais a montante, e afastados do dique de contorno, possuem a cota de fundo mais elevada do que os piezômetros do dique de contorno. Com isso, esses instrumentos estão acima do nível d'água registrado nos poços de monitoramento e se mostram pouco sensíveis as precipitações (pois estão abaixo da geomembrana de impermeabilização, indicando leituras mais constantes, geralmente secos).

Destaca-se que na Seção F-F, o piezômetro PZE-02-HAE-E apresentou uma mudança na tendência de suas leituras a partir de setembro/2019. Este instrumento apresentava leituras negativas com baixos valores de sucção e, desde então vem apresentando leituras positivas que estão aumentando gradativamente. Neste contexto, PIMENTA DE AVILA (2022) solicitou à Hydro a substituição do PZE-02-HAE-E por outros dois piezômetros elétricos (PZE's).

Ainda na Seção F, o piezômetro PZE-03-HAE-E tem apresentado leituras negativas (sucção), com até -1,10 m.c.a., desde o início de suas leituras em outubro/2017. No entanto, se observou uma elevação gradativa até março/2021 e, desde então, a taxa de crescimento da carga piezométrica se elevou consideravelmente. Como esse comportamento se iniciou antes do alteamento da pilha, em setembro/2021, não aparenta representar o desenvolvimento de poropressões construtivas. **Conforme indicado pela PIMENTA DE AVILA (2022), não é possível substituir o PIEZÔMETRO PZE-03-HAE-E por causa da presença de geomembrana no dique de contorno da zona interna, portanto, o comportamento desse instrumento e dos demais instrumentos instalados na Seção F e devem ser avaliados no longo prazo.**

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Além das sete seções instrumentadas do Depósito DRS2, existem duas seções localizadas nas Bacias BC-201 e BC-202. Verificou-se que em ambas as seções o nível d'água da Bacias BC-201 e BC-202 se encontram significativamente mais elevados do que os níveis piezométricos registrado nos piezômetros PZC-02 (cerca de 5,0 m) e PZC-04 (cerca de 9,0 m), respectivamente. **Tendo em vista que o nível d'água se encontra mais elevado nas bacias do que no Dique de Contorno, é possível constatar que há boa performance em relação à estanqueidade da geomembrana PEAD que reveste as estruturas.**

O piezômetro PZC-03 da Seção BC-202-B, cuja cota de fundo se encontra na El. 10,23 m, começou a registrar leituras a partir de fevereiro/2021. A carga piezométrica máxima do instrumento foi registrada em 14/05/21, de 0,40 m.c.a. Desde então, as leituras estão decrescendo e, a partir do dia 10/12/21, o instrumento me manteve seco. Como não era esperada leitura no PZC-03, a HYDRO realizou, sob orientação da PIMENTA DE AVILA, a coleta de amostra de efluente do interior do tubo para verificação do pH, que indicou que a que a água ensaiada no interior do PZC-03 é proveniente da superfície e não proveniente do Depósito DRS2 ou das Bacias de Controle, e a realização de um teste de esgotamento do instrumento, que indicou que as cargas piezométricas registradas antes e após a execução do ensaio foram similares, evidenciando que na região do entorno do piezômetro ocorre saturação do maciço.

A PIMENTA DE AVILA (2022) acrescenta que houve acúmulo de água durante período chuvoso em um ponto baixo identificado na região durante a inspeção de campo, realizada em 01/07/2021, podendo ter resultado na saturação do local e recarga superficial do instrumento. **A PIMENTA DE AVILA recomendou a avaliação da correção da declividade superficial do acesso periférico nas adjacências da Bacia BC-202 para evitar/reduzir empoçamentos futuros na região, bem como o revestimento do acesso em laterita. A FONNTES reitera tal recomendação.**

8.2 MONITORAMENTO DAS BACIAS

Em relação às bacias de controle, estas são monitoradas por régua limnimétrica em tempo real, e seu bombeamento obedece a um procedimento operacional baseado em níveis de controle adotados em função da diferença percentual entre a crista dos reservatórios e o nível d'água atingido com cada evento de precipitação simulado. Durante a visita técnica também pôde ser visto que os canais de contorno e as bacias são monitoradas por câmeras. É possível concluir que o monitoramento do nível dessas bacias é adequado.

8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DENSIDADE DE INSTRUMENTAÇÃO

Em relação a densidade de instrumentos para monitoramento do nível freático / piezométrico, verifica-se que o Depósito DRS2 apresenta nove seções para monitoramento do Depósito e das Bacias de Controle, incluindo 11 piezômetros Casagrande, 17 piezômetros elétricos de corda vibrante, 02 piezômetros elétricos *standard*, 13 poços de monitoramento instalados nas adjacências do DRS2 e medidores de nível nas bacias e nos canais de contorno. Com base na quantidade de instrumentos, localização das seções e interpretação das leituras dos instrumentos, conclui-se que a densidade de instrumentação é adequada. Recomenda-se que continuem sendo realizados os Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação e reforça-se a recomendação da PIMENTA DE AVILA (2022) de substituição do PZE-02-HAE-E por outros dois piezômetros elétricos.

8.4 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em relação aos contaminantes identificados por meio dos poços de monitoramento, é observado que os altos valores de ferro e alumínio estão associados à elevada concentração desses elementos no manto intempérico. Ademais, a presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* indicam contaminação por esgotos domésticos ou fezes de animais de sangue quente.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

Segundo o “Estudo de Background Ambiental na região de Barcarena/PA” desenvolvido em 2020 pelo LAGECO (Laboratório de Geologia Costeira) e IECOS (Instituto de Estudos Costeiros da UFPA), o alto teor de Chumbo (Pb) encontrado nas análises podem ser provenientes de causas geológicas naturais, assim como do Ferro (Fe) e do Alumínio (Al) que, conforme explicitado, está associado à elevada concentração desses elementos no manto intempérico.

O estudo ressalta que a qualidade da água no entorno da região, principalmente na região da Baía do Marajó, já se encontrava prejudicada em concentrações não só de Chumbo (Pb) e Cádmo (Cd), como também de outros metais como Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobalto (Co) antes da implantação dos depósitos DRS1 e DRS2.

Além disso, é de conhecimento da FONNTES que altas concentrações de Chumbo (Pb) podem ter origem em reações de solubilidade de alguns tipos de rochas carbonáticas. Sendo assim, a alta concentração do Chumbo (Pb) na região pode ter condicionantes naturais do próprio solo e embasamento cristalino. Portanto, a alta concentração de Chumbo (Pb) precisa ser investigada mais a fundo, uma vez que os dados de 1983-85 – período anterior a instalação dos Depósitos de Resíduos DRS1 e DRS2 – já mostravam alterações dos elementos Pb e Mn na região (Lima & Kobayashi, 1988).

Nos poços do DRS2 é realizado monitoramento de toda a lista CONAMA 396/08 em frequência trimestral. De acordo com a HYDRO, por iniciativa própria. Na avaliação da FONNTES o monitoramento das águas subterrâneas para o DRS2 está adequado.

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. COLEMAN, N.T.; TI-IOMAS, G.W. The bane chemistry of soil acidity. In: PHARSON, R.W.; ADMS, F. (Ed.). Soil acidity and liming. Madison: American Characterização e Classificação dos Solos do Município de Barcarena, Estado do Pará 1 33 Society of Agronomy, 1967. p.1-41.
- iii. 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.
- iv. 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.
- v. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vi. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vii. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- viii. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- ix. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- x. Lima, W. N.; Kobayashi, C. N. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena/PA. Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, v.2, n.1, p.53-71, 1988.
- xi. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento geomorfológico do nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2		

- xii. 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.

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

10. ANEXO A**Tabela 10.1 – Monitoramento de alumínio – poços ambientais DRS2 (µg/L) – Limite CONAMA 396 para consumo humano: 200 µg/L.**

Data	Descrição do Ponto	Alumínio – Al (µg/L)
11/03/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	236
11/03/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	44
11/03/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	183
11/03/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	113
11/03/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
11/03/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
12/03/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	148
12/03/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	157
12/03/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	177
12/03/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	89
12/03/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	149
06/05/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	147
06/05/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	165
06/05/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	134
06/05/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	116
06/05/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	371
06/05/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	202
07/05/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	135
07/05/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	183

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Alumínio – Al (µg/L)
07/05/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	319
07/05/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	42
07/05/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	98
18/08/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	173
18/08/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	97
19/08/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	246
19/08/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	67
19/08/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	53
19/08/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	330
19/08/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	175
19/08/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	282
19/08/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	242
19/08/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	199
19/08/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	235
21/09/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
21/09/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	77
21/09/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	141
21/09/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	59
21/09/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	34
21/09/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	100
22/09/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	245
22/09/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Alumínio – Al ($\mu\text{g/L}$)
22/09/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	97
22/09/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	147
22/09/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	209
05/11/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	89
05/11/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	186
05/11/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	460
08/11/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	228
08/11/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	140
08/11/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	107
08/11/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	301
08/11/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	166
09/11/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	126
09/11/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	263
09/11/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	188
15/02/2022	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	100
15/02/2022	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	166
15/02/2022	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	834
16/02/2022	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	107
16/02/2022	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	75
16/02/2022	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	562
16/02/2022	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	480
17/02/2022	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	118

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Alumínio – Al (µg/L)
17/02/2022	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	338
17/02/2022	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	528
17/02/2022	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	226

Tabela 10.2 – Monitoramento de ferro – poços ambientais DRS2 (µg/L) – Limite CONAMA 396 para consumo humano: 300 µg/L.

Data	Descrição do Ponto	Ferro - Fe (µg/L)
11/03/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	35201
11/03/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	185
11/03/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	278
11/03/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	2135
11/03/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	33882
11/03/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	244
12/03/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	72
12/03/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
12/03/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	1407
12/03/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	651
12/03/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
06/05/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	
06/05/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	64
06/05/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	254
06/05/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	17327
06/05/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	64

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Ferro - Fe ($\mu\text{g/L}$)
06/05/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	927
07/05/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	
07/05/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	62
07/05/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	4085
07/05/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	1303
07/05/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	36200
18/08/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	141
18/08/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	53
19/08/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	3281
19/08/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	724
19/08/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	35719
19/08/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	565
19/08/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	196
19/08/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	2358
19/08/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	25190
19/08/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	
19/08/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	3933
21/09/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	47704
21/09/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	193
21/09/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	381
21/09/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	374
21/09/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	6986

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Ferro - Fe ($\mu\text{g/L}$)
21/09/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	2189
22/09/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
22/09/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
22/09/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	1005
22/09/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	1221
22/09/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	
05/11/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	141
05/11/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	44781
05/11/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	676
08/11/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	246
08/11/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	564
08/11/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	44750
08/11/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	111
08/11/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	828
09/11/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	68
09/11/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	
09/11/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	749
15/02/2022	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	45129
15/02/2022	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	347
15/02/2022	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	1613
16/02/2022	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	474
16/02/2022	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	8885

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Ferro - Fe ($\mu\text{g/L}$)
16/02/2022	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	275
16/02/2022	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	1628
17/02/2022	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	101
17/02/2022	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	226
17/02/2022	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	4451
17/02/2022	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	1189

Tabela 10.3 – Monitoramento de Chumbo (Pb) – poços ambientais DRS2 ($\mu\text{g/L}$) – Limite CONAMA 396 para consumo humano: 10 $\mu\text{g/L}$.

Data	Descrição do Ponto	Chumbo – Pb ($\mu\text{g/L}$)
11/03/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	26
11/03/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	69
11/03/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	28
11/03/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	8.4
11/03/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	5.7
11/03/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	25
12/03/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	26
12/03/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	21
12/03/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	36
12/03/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	22
12/03/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	19
06/05/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	59
06/05/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	25

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Chumbo – Pb (µg/L)
06/05/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	9.6
06/05/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	14
06/05/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	24
06/05/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	34
07/05/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	25
07/05/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	18
07/05/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	93
07/05/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	47
07/05/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	47
18/08/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	29
18/08/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	22
19/08/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	62
19/08/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	22
19/08/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	44
19/08/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	100
19/08/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	30
19/08/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	19
19/08/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	5.7
19/08/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	17
19/08/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	100
21/09/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	28
21/09/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	206

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Chumbo – Pb (µg/L)
21/09/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	42
21/09/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	6.9
21/09/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	6.3
21/09/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	50
22/09/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	46
22/09/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	20
22/09/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	31
22/09/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	41
22/09/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - SEMESTRAL	16
05/11/2021	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	24
05/11/2021	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	27
05/11/2021	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	148
08/11/2021	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	44
08/11/2021	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	
08/11/2021	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	
08/11/2021	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	19
08/11/2021	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	26
09/11/2021	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	36
09/11/2021	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	38
09/11/2021	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	29
15/02/2022	PM-DRS2-07A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	32
15/02/2022	PM-DRS2-08A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	141

AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DO DRS2

Data	Descrição do Ponto	Chumbo – Pb ($\mu\text{g/L}$)
15/02/2022	PM-DRS2-09A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	46
16/02/2022	PM-DRS2-10A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	14
16/02/2022	PM-DRS2-11A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	6.1
16/02/2022	PM-DRS2-12A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	22
16/02/2022	PM-DRS2-13A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	40
17/02/2022	PM-DRS2-03A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	23
17/02/2022	PM-DRS2-04A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	30
17/02/2022	PM-DRS2-05A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	65
17/02/2022	PM-DRS2-06A - Poço DRS2 - TRIMESTRAL	36



FONNTES
G E O T É C N I C A

WEBSITE

www.fonntesgeotecnica.com

TELEFONES

(31) 3582-9185

(31) 3582-9186

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