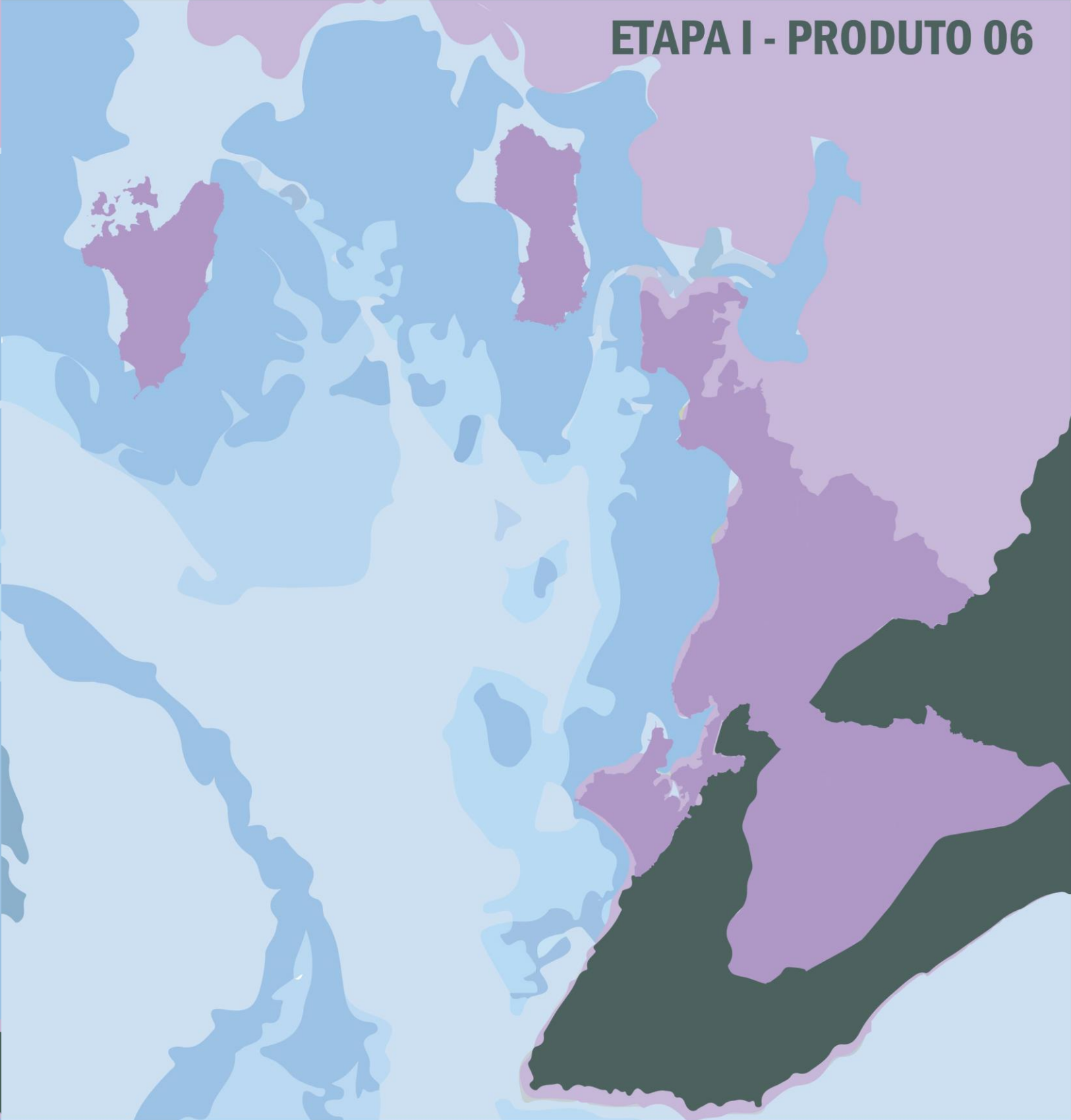


MAPEAMENTO DE BIOGASES E PROJETO DE DRENAGEM DA ÁREA DO ANTIGO ATERRO DE CANABRAVA

ETAPA I - PRODUTO 06



Agente Executor:



FMLF
FUNDAÇÃO MÁRIO LEAL FERREIRA

Consultoria:

FFA ARQUITETURA E URBANISMO LTDA



Contrato nº 02/2021

SPTA nº45/2024

**MAPEAMENTO DE BIOGASES E PROJETO DE
DRENAGEM DA ÁREA DO ANTIGO ATERRO DE
CANABRAVA – SALVADOR/BA**

**MAPEAMENTO DE BIOGASES E
PROJETO DE DRENAGEM
DA ÁREA DO ANTIGO
ATERRO DE CANABRAVA**

Etapas I - Produto 06**RELATÓRIO FINAL**

Compatibilização

Geral de Informações

EMIÇÃO INICIAL: Julho/2024

Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR

Bruno Soares Reis

Prefeito

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO

João Xavier Nunes Filho

Secretário

FUNDAÇÃO MÁRIO LEAL FERREIRA

Tânia Scofield Almeida

Presidente

Diretora de Planejamento e Informações - DIPLAN

Beatriz Loureiro Cerqueira Lima

EQUIPE RESPONSÁVEL PELA COORDENAÇÃO DO PROJETO

Fernando Sergio Barbosa Teixeira

Gerente de Planejamento e Informações

Sheila Maria Moreira de Souza

Arquiteta

EQUIPE TÉCNICA FFA ARQUITETURA E URBANISMO

Floriano Freaza Amoedo

Arquiteto e Urbanista Gerente de Projeto

Rodolfo Elias Madureira Filho

Arquiteto e Urbanista

Roberto F. da A. Souza

Engenheiro Civil

Helen Costa

Arquiteta Urbanista

Claudia Bispo Reis

Auxiliar Administrativo

Equipe Consultoria Especializada:

Francisco Fontes Lima

Engenheiro Civil - Ambiental/ Especialista em
Manejo e Exploração de Águas Subterrâneas

Lindauberto Rodrigues Coura

Engenheiro Civil/ Ambiental / Engenheiro de Segurança do Trabalho

Yuri Wladimiro Ferreira Vieira

Engenheiro Civil / Engenheiro de Segurança do Trabalho

Hércules Rodrigues Coura

Químico Industrial

APRESENTAÇÃO

A Prefeitura de Salvador, através da Fundação Mário Leal Ferreira - FMLF e da FFA Arquitetura e Urbanismo, empresa consultora contratada através da CONCORRÊNCIA PÚBLICA N.º 01/2021 - FMLF apresenta o **Produto 06 – RELATÓRIO FINAL**, conforme escopo do Contrato 02/2021, para a execução de serviços de engenharia referentes ao **MANEJO, CONTROLE E MONITORAMENTO DE EMANAÇÕES DE BIOGASES E ELABORAÇÃO DE PROJETO DE MANEJO, TRATAMENTO E DESTINO FINAL DOS EFLUENTES LÍQUIDOS NA ÁREA DO ANTIGO ATERRO DE CANABRAVA NO BAIRRO DE CANABRAVA-SALVADOR/Ba**, sob a responsabilidade técnica da empresa FFA.

SUMÁRIO

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR.....	3
EQUIPE TÉCNICA FFA ARQUITETURA E URBANISMO.....	4
APRESENTAÇÃO.....	5
INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO E PROPOSTA DE CONTROLE DAS EMANAÇÕES DE BIOGÁS NO ANTIGO ATERRO DE CANABRAVA	12
1. CONTEXTO	12
2. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS MONITORADOS.....	12
3. MAPEAMENTO E MEDIÇÃO DE BIOGÁS	14
4. NÍVEIS DE ÁGUA NOS DRENOS VERTICAIS	30
5. QUALIDADE DO CHORUME E GERAÇÃO DE BIOGÁS	34
6. COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES.....	38
CAPÍTULO 2: PROJETO DE DRENAGEM E ESTUDO HIDROLÓGICO PARA A ÁREA DE TOPO DO ATERRO CANABRAVA - FASE A E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO MACIÇO E ENCOSTAS	42
1. CONTEXTO	42
2. JUSTIFICATIVA TÉCNICA.....	43
3. BACIA DE CONTRIBUIÇÃO	43
4. ESTUDOS.....	46
5. PROJETO.....	51
6. ESPECIFICAÇÕES E RECOMENDAÇÕES	56
7. ELEMENTOS E ESTRUTURAS CONSTITUINTES DE UM ATERRO SANITÁRIO.....	57
8. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS.....	58
9. ESTABILIDADE DO MACIÇO E ENCOSTAS	64
CAPÍTULO 3: ESTUDOS DE MANEJO E DESTINO FINAL DE CHORUME DO ANTIGO ATERRO CANABRAVA FASE A.....	70
1. CONTEXTO	70
2. QUALIDADE E QUANTIDADE DOS LÍQUIDOS PERCOLADOS	70
3. ALTERNATIVAS DE MANEJO E TRATAMENTO.....	83
4. TRATAMENTO DO CHORUME.....	84
5. UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DO CHORUME	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXO I Drenos	100
ANEXO II Laudos Analíticos.....	103
ANEXO III Peças Gráficas.....	104

INTRODUÇÃO

Conforme consta no edital de Concorrência Pública N.º01/2021 – FMLF, o Município do Salvador é constituído de áreas de relevante valor ecológico e sociocultural, formado de sítios naturais singulares de notável beleza cênica e diversidade biológica, ao tempo em que apresenta também, um forte desequilíbrio social, principalmente em contraste com outras áreas mais privilegiadas da cidade, o que é refletido em sua ocupação do solo e em sua infraestrutura básica.

Neste contexto este estudo será integralizado, conforme especificações e produtos a seguir:

- **Produto 01:** Apresenta o plano de trabalho e procedimentos metodológicos.
- **Produto 02:** Relatório preliminar de manejo, controle e monitoramento de emissões de Biogases, envolvendo levantamento de campo, avaliação dos estudos pretéritos, caracterização ambiental, aspectos legais e proposições preliminares. Definição de malha amostral e coleta de amostras, avaliação dos ensaios laboratoriais.
- **Produto 03:** Projeto de Drenagem Pluvial envolvendo as soluções a serem adotadas com descrição e metodologia, estudos, identificação, dimensionamentos e cálculo.
- **Produto 04:** Projeto de Sistemas de Manejo, Tratamento e Destino final de chorume exsudante envolvendo as soluções a serem adotadas com descrição e metodologia, avaliações, planejamento, ensaios, especificações, orientações, dimensionamentos e cálculo.
- **Produto 05:** Plano de Fertirrigação envolvendo as soluções a serem adotadas com descrição e metodologia, caracterizações, parametrização, ensaios, especificações, dimensionamentos e cálculo.
- **Produto 06:** Relatório Final compatibilizando todas as informações

O Produto 06, apresentado neste documento, contém o Relatório Final que se refere a avaliação e desenvolvimento de soluções para controle de biogás, drenagem de águas pluviais e manejo do chorume emanados da fase A do Aterro Canabrava.

Resumo Executivo

Verificou-se durante os trabalhos realizados que ao longo dos últimos 30 anos a contar do encerramento do aterro as quantidades e qualidades do biogás e chorume gerados vem sendo modificadas em função da ocorrência de processo de estabilização biológica natural e intrusão de água de chuva. Constatou-se uma estabilização parcial dos gases e líquidos, mas tanto o biogás quanto o chorume ainda demandam acompanhamento, tratamento e manejo seguros, sendo estas providências fundamentais para permitir que o Aterro Canabrava alcance conformidade ambiental.

As etapas do trabalho realizado são apresentadas em três capítulos listados a seguir:

- CAPÍTULO 1: Avaliação e Proposta de Controle das Emissões de Biogás no antigo aterro de Canabrava;
- CAPÍTULO 2: Projeto de Drenagem e Estudo Hidrológico para a área de topo do aterro Canabrava - Fase A e avaliação da Estabilidade do Maciço e Encostas;
- CAPÍTULO 3: Estudos de Manejo e Destino Final de chorume do antigo aterro de Canabrava Fase A.

Resume-se a seguir as principais observações e recomendações da Consultoria para *Controle das Emissões de Biogás, Manejo e Destino Final de Chorume* além da implementação de programa de *Monitoramento e Controle do Maciço do Aterro*.

Controle das Emissões de Biogás

As determinações de gases feitas durante as três campanhas de amostragem realizadas indicaram a presença de biogás nas saídas dos drenos verticais existentes, tendo sido também identificados sinais de queima de biogás emanante evidenciados pela deformação de tubos PVC e PEAD existentes.

Mais recentemente foi divulgado nas redes sociais uma filmagem de moradores locais provocando a queima de biogás no Dreno de Gás 11 na berma mais próxima a área de transbordo. Na última campanha realizada em 03/04/24 buscou-se de modo seguro promover a ignição dos drenos de gás que haviam apresentado em campanhas anteriores maiores presenças de biogás na boca do dreno. Na ocasião

devido ao período intenso de chuvas por mais 5 semanas anteriores não se obteve a ignição de boca de dreno mesmo DG 11 pessoas da vizinhança costumam “botar fogo”. Destaca-se que em todas as campanhas realizadas após um afastamento na vertical de 50cm da boca do tubo dreno nunca se alcançava o LEL.

Não se trata de grandes quantidades de gás e isso foi constatado anteriormente nos ensaios de aproveitamento dos gases que uma empresa canadense denominada Conestoga-Rovers Engenharia realizou nos anos 90, concluindo pela inviabilidade do aproveitamento energético. O chorume amostrado e analisado não tem características que indiquem grande potencial de produção de biogás, porém algum gás ainda será gerado, conforme já determinado em campo, pois existem quantidades expressivas de lixo acumulado depositado no maciço do aterro. As concentrações de nutrientes no chorume monitorado, mostram baixa disponibilidade de fósforo e mediana de nitrogênio, ainda suficientes para sustentar atividade biológica no maciço do aterro com baixa, porém efetiva, produção de biogás.

O asfaltamento com impermeabilização de 37% da área de topo da Fase A do antigo Aterro Canabrava prevista será positiva sob vários aspectos, inclusive na redução da contribuição de águas pluviais para o interior do maciço, capazes de induzir a geração de chorume. No entanto cuidados devem ser tomados para que o biogás formado não se acumule e venha a formar bolsões de gases capazes de aumentar a instabilidade da encosta que tem cerca de 50m de altura. A situação quanto a estabilidade do maciço precisa ser monitorada, pois é muito diferente neste novo estacionamento se comparado ao existente sobre parte do Aterro mais antigo da Fase B, já asfaltado anteriormente. No estacionamento existente sobre a Fase B a encosta na parte mais alta ao longo da estrada de acesso alcança no máximo 5 m de altura e conta inclusive com algumas estruturas de contenção. Essa própria via de acesso principal se assenta sobre terreno natural e também serve de contenção para o aterro Fase B (mais antigo) na parte que foi asfaltado anteriormente.

Sendo assim *drenos devem ser mantidos livres* para monitoramento e exaustão de forma evitar o acúmulo de biogases já que esses sempre escapam verticalmente. Um bolsão de gás confinado sob o asfalto exerceria pressões laterais e tenderia a

gerar pressões internas capazes de alterar a estabilidade da encosta do Aterro Fase A.

Recomenda-se a preservação e proteção dos drenos de gases identificados no topo do aterro no levantamento topográfico de 2023 fornecido pela Prefeitura para manter o equilíbrio atualmente existente:

- 10 na área asfaltada do futuro estacionamento;
- 8 na área livre não pavimentada correspondente ao antigo espaço de destinação de lixo hospitalar e campo de futebol com vegetação situada em torno do futuro estacionamento.

Todos os drenos já identificados pelo topógrafo na encosta do aterro Fase A também devem ser preservados. Recomenda-se a realização de levantamento topográfico complementar, quando o clima permitir para identificar todo conjunto de drenos de gases existentes na encosta que se pode perceber em imagens antigas de satélites.

Manejo e Destino Final de Chorume

Com o objetivo de obter dados consistentes para planejar o Sistema de manejo e Controle Ambiental para o chorume gerado no aterro Canabrava, foi feita a quantificação do chorume por modelamento e medições em campo com amostragem para análise de bancada e laboratório.

Os resultados analíticos de três amostras representativas obtidas e os valores de literatura adotados na caracterização e enquadramento do chorume atual da Fase A do Aterro Canabrava mostram que a composição do chorume é similar à do esgoto doméstico parcialmente tratado, ainda biodegradáveis. A vazão média de chorume previsível de Chorume calculada pelo método Suíço para futura área exposta de 11,54 ha e Precipitação Pluviométrica de abril, maio e junho foi de 265,2m³/d. Deste total, boa parte do chorume é reunido no ponto amostrado onde existiu uma Estação de Manejo de Chorume.

Como opção de manejo ambiental o chorume do aterro Canabrava estudou-se o pré- tratamento em uma Câmara de Sedimentação para remoção de areia e silte em seguida encaminhado para tratamento num tanque de dessorção de amônia onde

seria adicionado um alcalinizante para elevação do pH para faixa de 8,5 a 9,0 para promover a remoção de amônia em tanque de aeração / dessorção.

De forma alternativa e melhor em termos ambientais foi considerada a utilização do chorume atual de fertirrigação em áreas verdes, já que o mesmo contém N e P nitrogênio e fosforo na sua composição. Esses nutrientes, que são também contaminantes para cursos hídricos, seriam fixados em culturas irrigadas no horto previsto e progressivamente em gramíneas e arbustos nas encostas do Aterro na medida sejam controlados os riscos de instabilidade atualmente perceptíveis. A *alternativa fertirrigação é melhor* também em termos operacionais pois limita as operações na área próximo ao Atakarejo ao funcionamento de uma bomba submersível instalada em poço de sucção blindado na área da antiga Estação de Manejo de Chorume.

Monitoramento e Controle do Maciço do Aterro

É muito importante que se ponha em prática ao longo dos próximos 3 anos alguns *programas de monitoramento e controle do maciço*, topo e encosta do Aterro Canabrava Fase A, sendo os principais:

- Monitoramento geotécnico e geométrico com frequência semestral da encosta e topo do aterro;
- Implantação de 4 poços de monitoramento de água subterrânea de acordo com a NBR ABNT 13.895/97 para amostragem adequada e determinação dos efetivos níveis d'água no interior do maciço do aterro;
- Monitoramento trimestral da variação dos níveis d'água nos drenos verticais com análise de campo da água e gases emanados;
- Monitoramento semestral da qualidade da água (chorume) em pelo menos 4 pontos a selecionar;
- Desenvolver um programa de controle de erosão para a encosta do aterro nos moldes divulgados pela Embrapa, considerando inclusive a presença inadequada e dominante de vegetação arbórea.

CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO E PROPOSTA DE CONTROLE DAS EMANAÇÕES DE BIOGÁS NO ANTIGO ATERRO DE CANABRAVA

1. CONTEXTO

A vazão de percolados em aterros depende de vários fatores, dentre eles: pluviometria local, grau de compactação das células de resíduos, tipo de resíduo, do material dos trabalhos realizados referiram-se ao desenvolvimento de Serviços de Engenharia quanto ao manejo de Emissões de Biogases e Efluentes Líquidos na área do antigo Aterro de Canabrava, denominada Fase A, onde está sendo implantado um grande estacionamento com pavimentação asfáltica.

Os trabalhos de Mapeamento e determinação de emissões de biogás foram inicialmente realizados em 27 de outubro de 2023 pelos técnicos consultores especializados em condições de tempo seco. Quatro campanhas de monitoramento dos Gases adicionais foram conduzidas sob tempo muito chuvoso que dificultou os trabalhos.

O monitoramento dos Gases foi realizado na boca de poços localizados no topo do aterro, utilizando equipamento portátil GasAlert Max XT II e Medidor de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC). As medições foram realizadas para definição das concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis (**VOC**), Monóxido de Carbono (**CO**), Gás Sulfídrico (**H₂S**), Oxigênio (**O₂**) e Limite Inferior de Explosividade (**LEL**).

Nas mesmas campanhas de monitoramentos foi verificado o nível estático dos líquidos no poços existentes e tomadas amostras para realização “in loco” de análises de PH, Temperatura, Condutividade, Cor e turbidez.

2. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS MONITORADOS

A área estudada é o aterro Canabrava desativado na década de 1990, aproximadamente 30 anos atrás, localizado no Bairro Canabrava, Salvador - BA. Ver **Figura 2.1**.

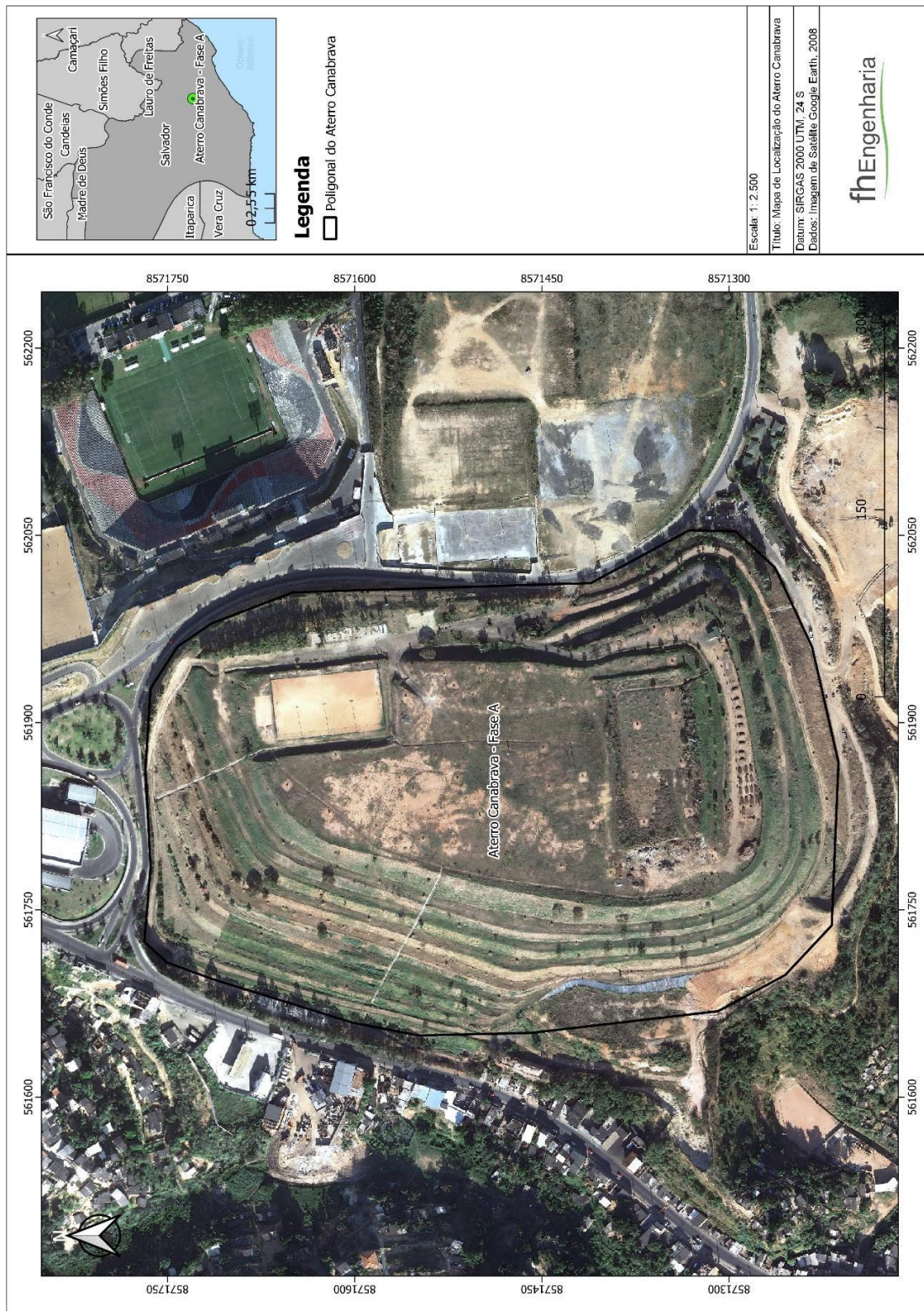


Figura 2.1: Mapa de Localização dos Drenos de Gás Monitorados – Imagem Google, 2008

3. MAPEAMENTO E MEDIÇÃO DE BIOGÁS

No Mapeamento e Medição de Biogás do Aterro de Canabrava a contratada realizou uma avaliação nas concentrações dos gases em pontos nas bocas de Drenos de Gás existentes no plano de topo do aterro e num ponto em berma inferior no “pé do aterro”.

3.1 Descrição dos Pontos e Campanhas de Amostragens

Os pontos de amostragem e medição correspondem a drenos verticais de gases, conectados a linhas de drenagem horizontais. Conforme apurado em entrevistas com antigos operadores, embora não exista na base do aterro Canabrava uma manta de impermeabilização como é mandatório em aterros sanitários modernos, foram instalados no aterro de Canabrava drenos horizontais aos quais estão ligados os drenos verticais objeto das campanhas de amostragem. O propósito desse sistema foi o de exsudar líquidos do maciço do aterro para conferir estabilidade, ao mesmo permitindo o avanço de máquinas na conformação do antigo aterro.

No levantamento topográfico de maio de 2023 fornecido pela prefeitura foram identificados um número total de 31 drenos de gases localizando-se 13 nas bermas da encosta e 18 no topo. Desses situados no topo 10 estarão na área do futuro estacionamento asfaltado e 8 fora do muro de isolamento.

É importante ressaltar que o levantamento topográfico de 2023 na área de encosta foi limitado, provavelmente devido a dificuldades de acesso e segurança, determinando apenas um número de 13 drenos, quando se percebe por imagens de satélites anteriores que esse número é muito maior.

Ver **Figura 3.1.a** seguir:

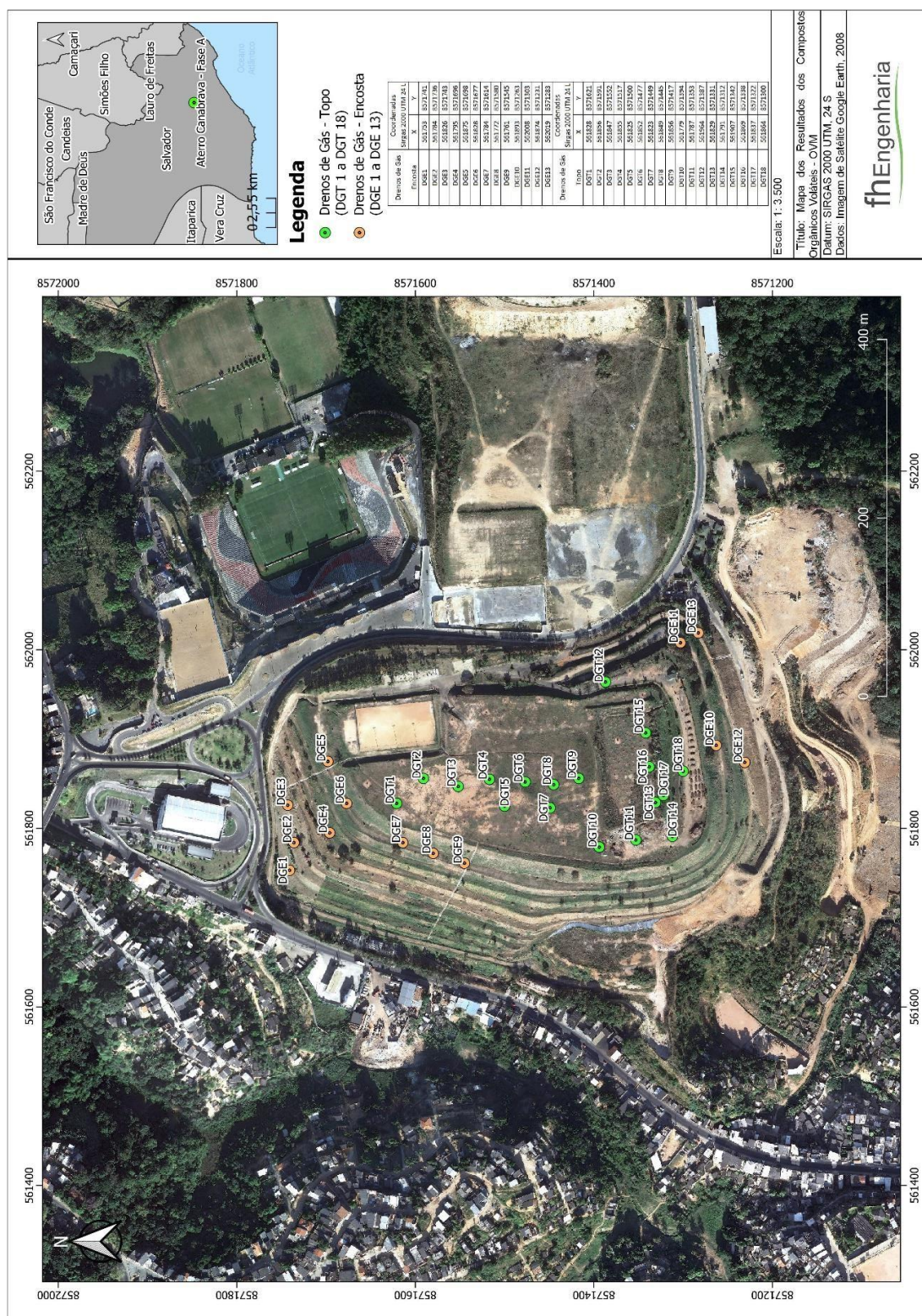


Figura 3.1: Mapa de Localização dos Drenos de Gás – Imagem Google 2008.

Na amostragem de 27 de outubro de 2023 quando já estava em curso a terraplenagem para implantação do estacionamento, foram apenas identificadas e feitas medições em 4 pontos no topo do aterro sob a área a ser asfaltadas. Dois

outros pontos não situados no topo do aterro também foram amostrados na ocasião: o Dreno DG12 em berma no “pé” do aterro e um ponto na saída de tubulação horizontal de reunião de chorume próxima a antiga ETE, em frente à loja do Atakarejo na Estrada Velha do Aeroporto Ver **Figura 3.2**. Para a campanha realizada em março de 2024 foi solicitado à construtora do estacionamento a localização e desobstrução de drenos de gases.

Resume-se a seguir as condições e atividades das campanhas realizadas:

- 27/11/23: campanha preliminar realizada em condições de *tempo seco* / com medição do nível d'água (chorume) / coleta e análise de campo do líquido e medição de gases na boca do dreno;
- 26/03/24: nesta campanha logo após a medição dos três primeiros pontos ocorreu uma chuva muito intensa a qual impediu o prosseguimento das medições de gases / a condutividade medida nos pontos amostrados ainda se mostrou muito semelhante a medida na campanha anterior;
- 04/04/24: campanha iniciada com tempo muito chuvoso com medições em seis pontos/ constatou-se a drenagem e introdução de muita água pluvial pelos drenos de gases que funcionavam como “ralos” (ver **Fotos 3.1 e 3.2**) / verificou-se a elevação do N.A, diminuição das concentrações de gases e da Condutividade;



Fotos 3.1 e 3.2 – Dreno DG 5 funcionando como ralo

- 12/04/24: campanha realizada em condições de tempo seco, sem registro de chuva nos dois dias anteriores / verificou-se uma “recuperação” da condutividade determinada ao nível das duas primeiras campanhas / identificação de drenos de gás obstruídos pelo solo carregado pela chuva / realizada amostragem para análise laboratoriais do chorume no dreno horizontal final frente a loja do supermercado Atakarejo (antiga ETE) e em dreno vertical de gás vizinho localizado na penúltima berma, no “pé” do aterro. Ver **Gráfico 3.1**.
- 03/05/24: campanha realizada em condições de tempo seco, com poucas chuvas nos três dias anteriores / neste trabalho de curta duração buscou-se confirmar as medições de gases em quatro drenos de gases representativos incluindo o DG 11 em berma no pé do aterro / em seguida

com critério de segurança, envolvendo ignição distanciada e extintor de chama, buscou-se obter queima de gás em bocas de drenos.

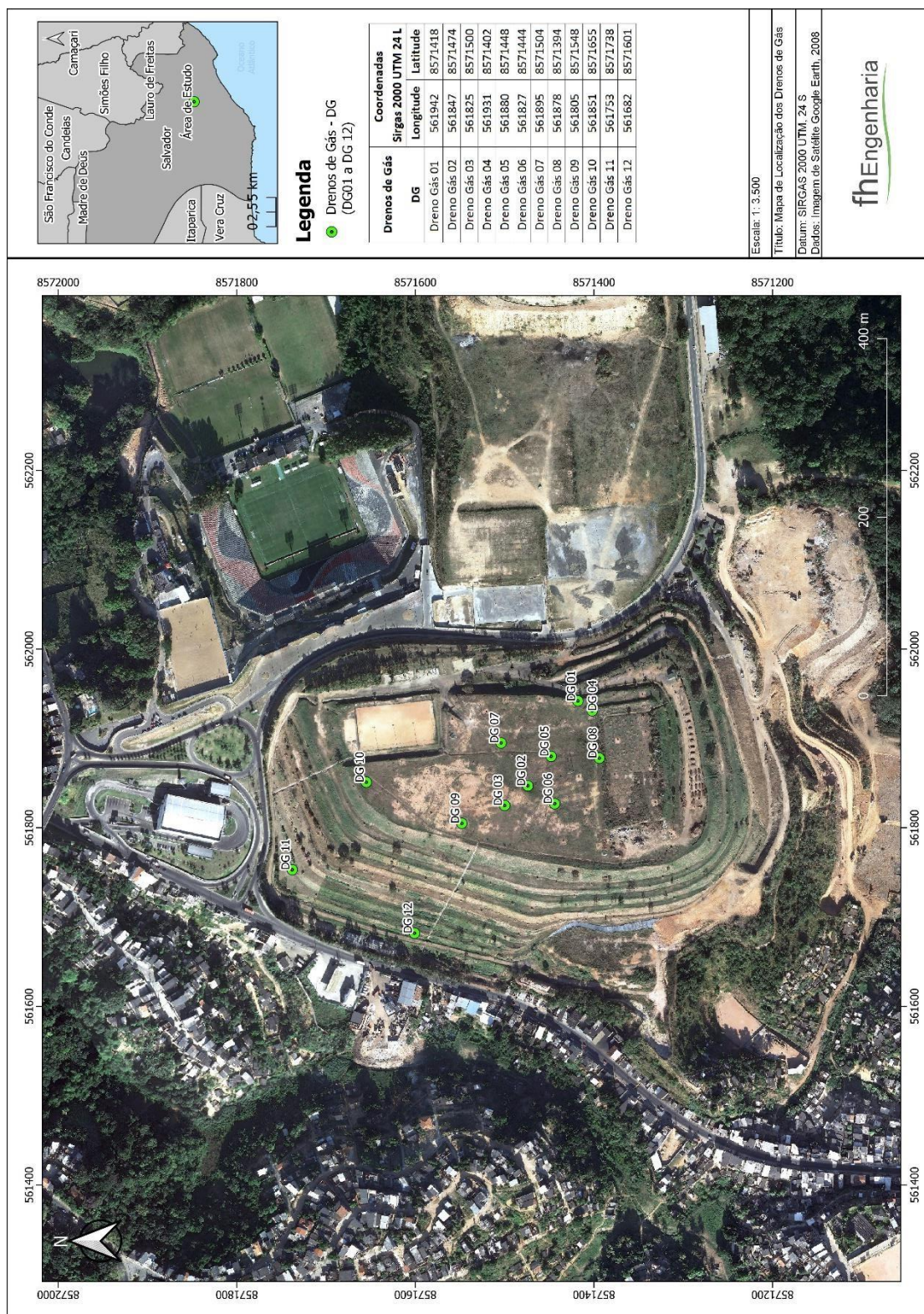


Figura 3.2 – Localização dos Drenos de Gases monitorados pela consultora – 2023 e 2024

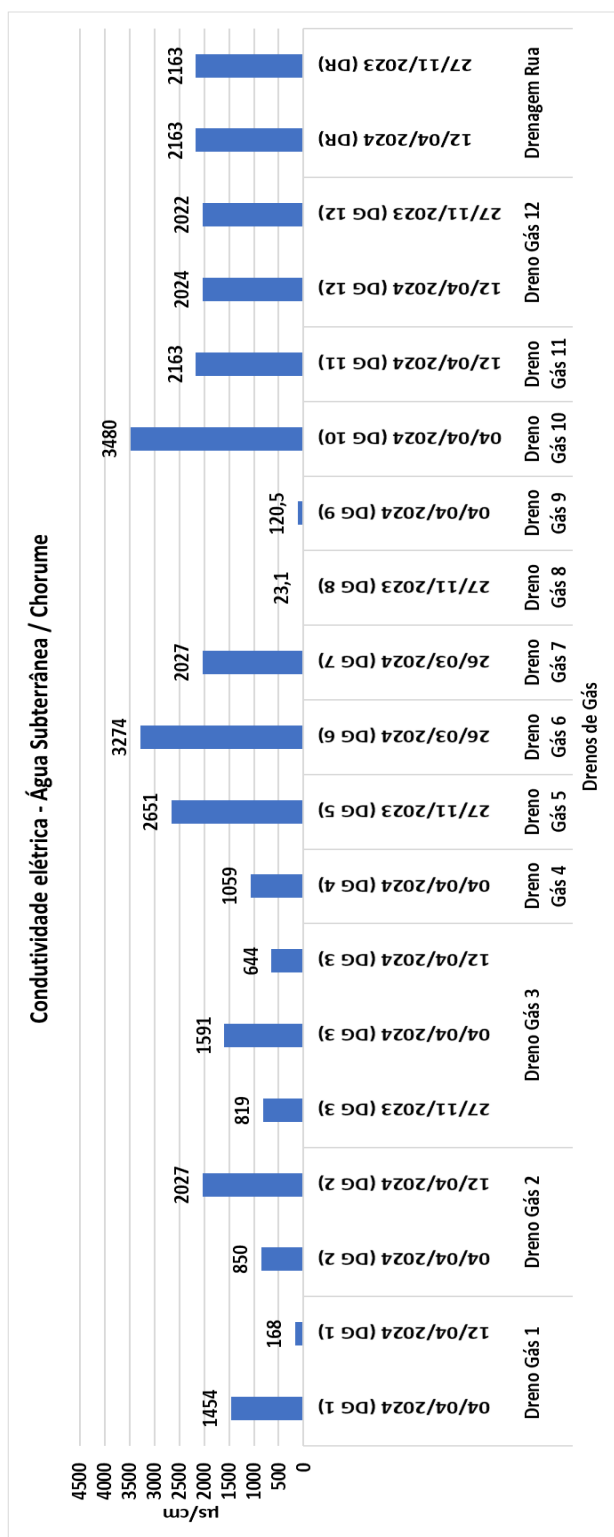


Gráfico 3.1: Evolução da Condutividade ao longo das campanhas 2023 e 2024 devido influência de chuvas

Observou-se durante as campanhas em três dos drenos amostrados, sinais evidentes de queima de biogás emanante caracterizados pela deformação dos tubos PVC e PEAD existentes. Mas recentemente foi divulgado nas redes sociais uma filmagem de moradores locais provocando a queima de biogás no Dreno de Gás 11 na berma mais próxima a área de transbordo (**Fotos 3.3 e 3.4**).



Foto 3.3 – Terminal de dreno PVC queimado –, campanha 27/04/24



Foto 3.4 – Boca de tubo em chamas DG 11 - Fonte: vídeo divulgado por morador do bairro

Não se trata de grandes quantidades de gás e isso foi constatado anteriormente nos ensaios de aproveitamento dos gases que uma empresa canadense denominada Conestoga-Rovers Engenharia realizou nos anos 90, concluindo pela inviabilidade do aproveitamento energético. Posteriormente no novo Aterro Centro que substituiu Canabrava, construído com isolamento de fundo e técnicas modernas de isolamento foi viabilizada a implantação da UTE – Usina Termelétrica acionada a biogás.

Na última campanha realizada em 03/04/24 buscou-se de modo seguro promover a ignição dos drenos de gás que haviam apresentado em campanhas anteriores maiores presenças de biogás na boca do dreno. Na ocasião devido ao período intenso de chuvas por mais 5 semanas anteriores não se obteve a ignição de boca de dreno mesmo DG 11 pessoas da vizinhança costumam “botar fogo”. Destaca-se que em todas as campanhas realizadas após um afastamento na vertical de 50cm da boca do tubo dreno nunca se alcançava o LEL.



Foto 3.5: Terminal de dreno PVC teste de queima no DG 8– campanha 03/05/24



Foto 3.6: Terminal de dreno PVC teste de de queima no DG 8 – , campanha 03/05/2



Foto 3.7: Terminal de dreno PVC teste de queima no DG 11 – campanha 03/05/24



Foto 3.8: Terminal de dreno PVC teste de queima no DG 11– campanha 03/05/24



Foto 3.9: Vista do DG 11 de queima frequente em área de estacionamento informal.



Foto 3.10: Vista do DG 11 de queima frequente em área de estacionamento informal

3.2 Medição de Gases

O **Quadro 3.1 e 3.2** apresenta os resultados das concentrações dos gases de ácido sulfídrico (H₂S), monóxido de carbono (CO), oxigênio (O₂), Limite Explosividade Inferior (LEL) verificados durante campanhas realizadas em 12 pontos (Drenos de Gás) de amostragens correspondentes a Drenos de Gás situados na região do terrapleno do topo, onde está sendo implantado um estacionamento asfaltado e em berma no pé do Aterro de Canabrava.

As medições das concentrações de gases foram realizadas em duas formas: a 1ª na boca do Dreno de Gases (Ver **Gráfico 3.2 e Figura 3.3**, Limite Explosividade Inferior (LEL) e a 2ª a 50 cm de altura da boca do Dreno de Gás (Ver **Gráfico 3.3**, Limite Explosividade Inferior (LEL)).

Para referenciar os valores de LEL foi utilizado a norma NR 15 – Atividades Insalubres e Perigosas, que estabelece o limite de tolerância do LEL do gás metano em até 10%.

Quadro 3.1: Resultados da Concentração de Gases na boca do tubo do dreno.

Drenos de Gás	Data Monit.	Coord. Latitude / Longitude	H ₂ S	CO	O ₂	LEL
		UTM - 24L	ppm	ppm	%	%
Dreno Gás 1	04/04/24	561942/8571418	1,0	0,0	19,2	24
	12/04/24		0,0	0,0	20,9	13
Dreno Gás 2	04/04/24	561847/8571474	0,0	0,0	19,9	0,0
	12/04/24		0,0	0,0	17	27

Drenos de Gás	Data Monit.	Coord. Latitude / Longitude	H ₂ S	CO	O ₂	LEL
		UTM - 24L	ppm	ppm	%	%
Dreno Gás 3	27/11/23	561825/8571500	0,0	0,0	20,9	0,0
	04/04/24		0,0	0,0	20,9	0,0
	12/04/24		0,0	0,0	19,7	12
Dreno Gás 4	04/04/24	561931/8571402	0,0	0,0	19,9	27
Dreno Gás 5	27/11/23	561880/8571448	0,0	0,0	20,9	14
Dreno Gás 6	26/03/24	561827/8571444	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 7	26/03/24	561895/8571504	0,0	0,0	18,0	> 70
Dreno Gás 8	27/11/23	561878/8571394	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 9	04/04/24	561805/8571548	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 10	04/04/24	561851/8571655	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 11	12/04/24	561753/8571738	0,0	0,0	20,9	54
Dreno Gás 12	12/04/24	561682/8571601	0,0	0,0	20,9	5,0
	27/11/23		0,0	0,0	-	> 70

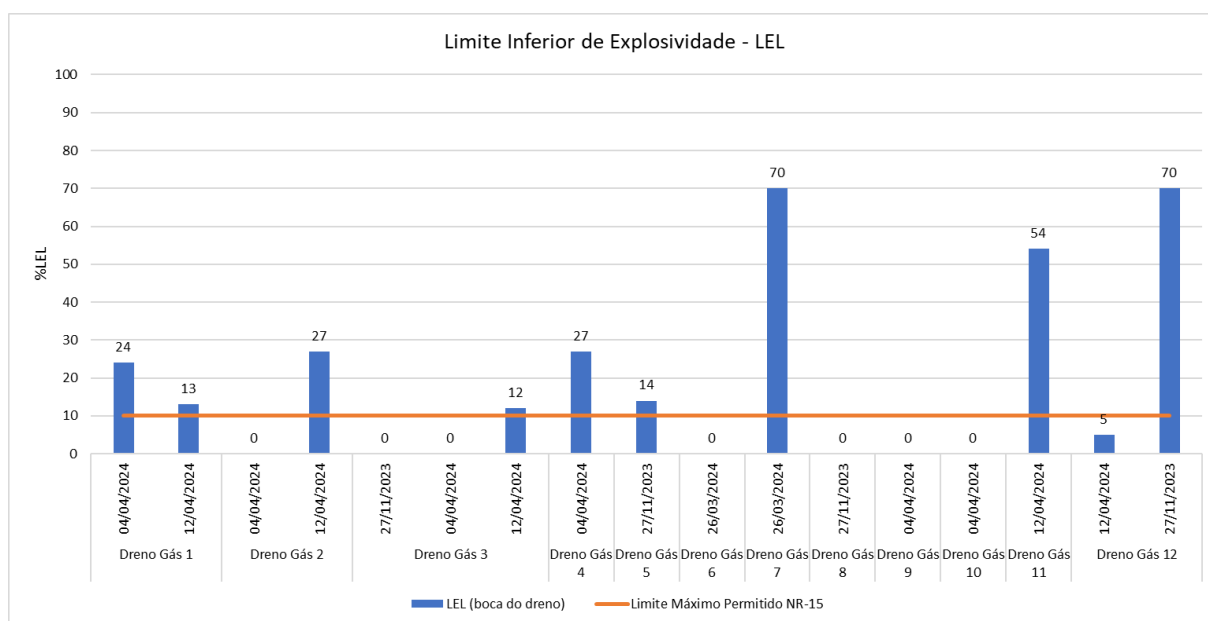


Gráfico 3.2: Concentrações dos Gases de Limite Inferior de Explosividade - LEL em Boca do Dreno

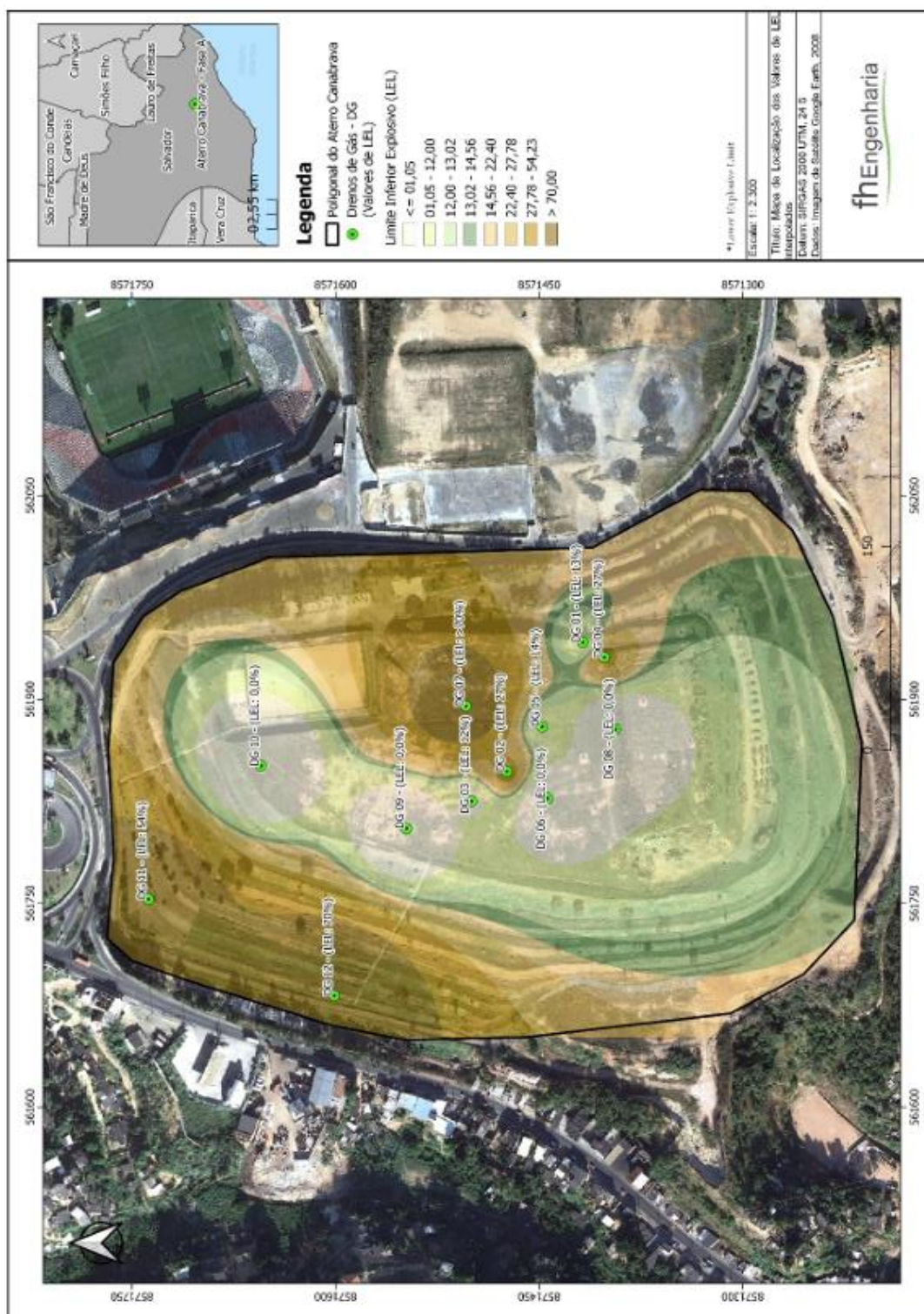


Figura 3.3: Concentrações do Limite Inferior Explosividade na boca dos drenos de gases – Imagem 2008

Quadro 3.2: Resultados da Concentração de Gases **afastado 50 cm** da boca do tubo do dreno de Gás.

Drenos de Gás	Data Monit.	Coord. Latitude / Longitude	H ₂ S	CO	O ₂	LEL
		UTM - 24L	ppm	ppm	%	%
Dreno Gás 1	04/04/24	561942/8571418	0,0	0,0	20,9	0,0
	12/04/24		0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 2	04/04/24	561847/8571474	0,0	0,0	20,9	0,0
	12/04/24		0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 3	27/11/23	561825/8571500	0,0	0,0	20,9	0,0
	04/04/24		0,0	0,0	20,9	0,0
	12/04/24		0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 4	04/04/24	561931/8571402	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 5	27/11/23	561880/8571448	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 6	26/03/24	561827/8571444	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 7	26/03/24	561895/8571504	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 8	27/11/23	561878/8571394	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 9	04/04/24	561805/8571548	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 10	04/04/24	561851/8571655	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 11	12/04/24	561753/8571738	0,0	0,0	20,9	0,0
Dreno Gás 12	12/04/24	561682/8571601	0,0	0,0	20,9	0,0
	27/11/23		0,0	0,0	20,9	0,0

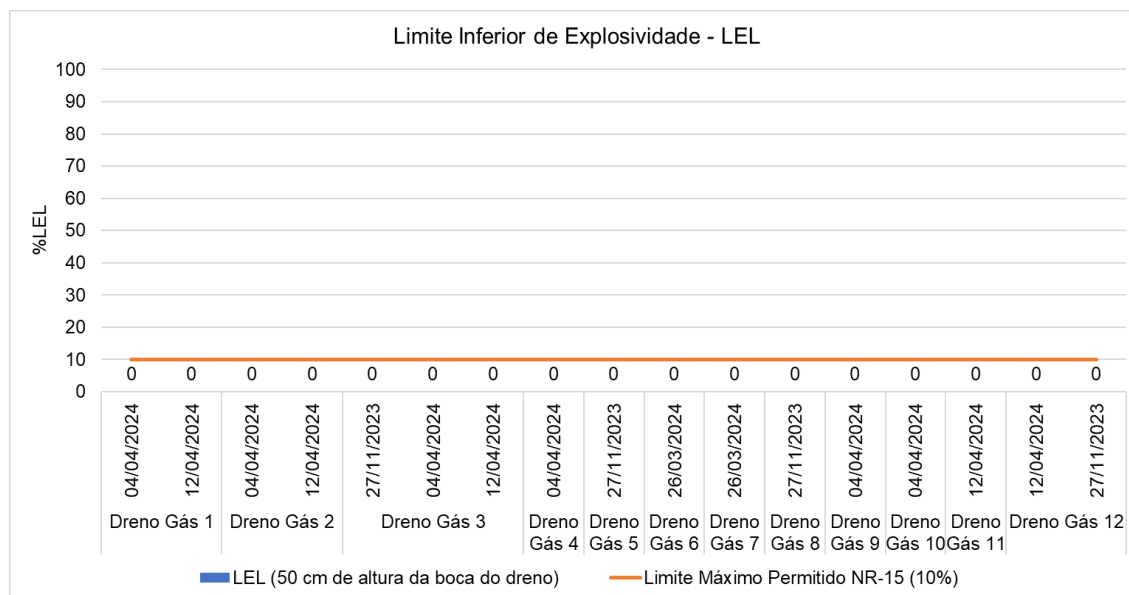


Gráfico 3.3: Concentrações dos Gases de Limite Inferior de Explosividade - LEL **afastado 50 cm** da Boca do tubo do Dreno.

Quadro 3.3: Limites de Alarme H₂S, CO, O₂ e LEL

Compostos	Und	GasAlert Max XT II	
		Limite Mínimo de Alarme	Limite Máximo de Alarme
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	ppm	10	15
Monóxido de Carbono (CO)	ppm	35	200
Oxigênio (O ₂)	%/vol	19,5	23,5
Limite Inferior de Explosividade (LEL)	% LEL	10	20

3.2.1. Determinação de Limite de Explosividade

Os gases inflamáveis foram detectados através do percentual do Limite Inferior de Explosividade, usualmente conhecido pelas siglas %LIE (Limite Inferior de Explosividade) ou %LEL (Lower Explosive Limit). Cada gás possui o seu próprio LIE, dado pela sua concentração ideal para que uma mistura ar+combustível inflame.

O gás Metano – CH₄, componente principal do biogás que se busca detectar, apresenta um LIE de 5% v/v, ou seja, num ambiente de ar atmosférico restrito ou confinado, basta 5% de Metano para que haja risco de explosão.

Quadro 3.4: Exemplos de gases inflamáveis e seus respectivos LIE:

Gás	Fórmula	LIE
Monóxido de Carbono	CO	12,5%
Metano	CH ₄	5,0%
Pentano	C ₅ H ₁₂	1,4%
Estireno	C ₆ H ₅ CHCH ₂	0,9%

Um detector de explosividade tem sua escala variando de 0 a 100% do L.I.E., com calibração em um determinado gás inflamável, mais comumente o metano (CH₄), que tem seu L.I.E. igual a 5% v/v. Dessa forma quando o equipamento acusa, o limite de 50%, significa que há, na atmosfera interior, 2,5% de CH₄ v/v.

A aproximação do detector da fonte de contaminação, para “ver o quanto tem de gás” deve ser muito cuidadosa e não é adequada, pois ao atingir o valor de 100% significa que só faltaria centelha, para que a atmosfera entre em ignição. O limite mínimo de alerta em um detector de múltiplos gases **é o nível mais baixo de concentração de um determinado gás que o dispositivo pode detectar e alertar sobre sua**

presença, ou seja, é o limite inferior em que o detector pode detectar com confiabilidade a presença desse gás.

Este limite é importante porque ajuda a garantir a segurança, alertando sobre a presença de gases tóxicos ou inflamáveis mesmo em concentrações muito baixas. Quando o nível de um gás atinge ou ultrapassa esse limite, o detector emite avisos para que possa tomar medidas preventivas adequadas para evitar uma possível ignição.



Fotos 3.11, 3.12 e 3.13 - Detector de gás GasAlertMax XT II.

3.2.2. Compostos Orgânicos Voláteis – COV

As medições de Compostos Orgânicos Voláteis – COV (do inglês VOC), foram realizadas com equipamento de foto-ionização detector de VOC (sniffer), modelo ProCheck TIGER (ver **Fotos 3.12 e 3.13**), capaz de medir até 450 diferentes gases. Apesar do equipamento não medir diretamente a produção de metano (CH_4) determina inúmeros compostos orgânicos associáveis ao lixo urbano e biogás formado. Dessa forma torna possível estimar a atividade de formação de gases a partir da medição dos componentes orgânicos voláteis, esses normalmente correspondentes a cerca de 0,5 a 2% das emissões gasosas presentes em um aterro sanitário (Shuetz et al. 2003; Tassi et al. 2009) conforme exemplificado na **Quadro 3.5.** que apresenta uma média para produção de gases em um aterro sanitário. Dentro dos gases classificados como COV produzidos no aterro sanitário podem ser citados o benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros do xileno (BTEX). Na

inspeção utiliza-se como referência o limite superior de triagem de 50ppm de COV da agência de proteção ambiental americana a partir do qual é recomendável investigações (complementares).

A partir da **Figura 3.4** de localização dos drenos de gás observada uma distribuição homogênea ao longo do aterro, sendo registrado que a maioria dos drenos apresentavam emanções gasosas medidas pelo COV indicando que os drenos monitorados encontram-se em atividade e livres. Os resultados encontrados de COV apresentaram mínima de 0 ppm, média de 0,11ppm e máxima de 1,4 ppm. Esses valores indicam a ausência de hidrocarbonetos derivados de petróleo indicando que na área efetivamente foi dada disposição para resíduos domésticos não perigosos Classe II.



Foto 3.14: Equipamento Procheck Tiger – detector de VOC.



Foto 3.15: Utilização do Medidor de VOC em campo

Quadro 3.5: Composição típica do gás em aterros

Gás	Fórmula	Volume (%)
Metano	CH ₄	45 – 70
Dióxido de carbono	CO ₂	30 – 60
Nitrogênio	N ₂	2,0 – 5,0
Oxigênio	O ₂	0,1 – 3,0
Sulfeto de Hidrogênio	H ₂ S	0 – 2,0
Amônia	NH ₃	0,1 – 1,0
Hidrogênio	H ₂	0 – 5,0
Monóxido de Carbono	CO	0 – 3,0
Componentes Traço (Componentes Orgânicos Voláteis)	-	0,1 – 2,0

Fonte: Anderson, 2007; Shuetz et al. 2003; Tassi et al. 2009.

Quadro 3.6: Resultados em campo dos Líquidos dos poços de Monitoramento

POÇOS	Data Monitoramento	Coord. Latitude / Longitude	Compostos Orgânicos Voláteis – COV
		UTM - 24L	(ppm)
Dreno Gás 1	04/04/24	561942/8571418	0,0
	12/04/24		0,0
Dreno Gás 2	26/03/24	561847/8571474	0,0
	04/04/24		0,0
	12/04/24		0,0
Dreno Gás 3	27/11/23	561825/8571500	0,0
	04/04/24		0,0
	12/04/24		0,0
Dreno Gás 4	04/04/24	561931/8571402	0,0
Dreno Gás 5	27/11/23	561880/8571448	1,4
Dreno Gás 6	26/03/24	561827/8571444	0,0
Dreno Gás 7	26/03/24	561895/8571504	0,7
Dreno Gás 8	27/11/23	561878/8571394	0,0
Dreno Gás 9	04/04/24	561805/8571548	0,0
Dreno Gás 10	04/04/24	561851/8571655	0,0
Dreno Gás 11	12/04/24	561753/8571738	0,0
Dreno Gás 12	12/04/24	561682/8571601	0,0
	27/11/23		0,0

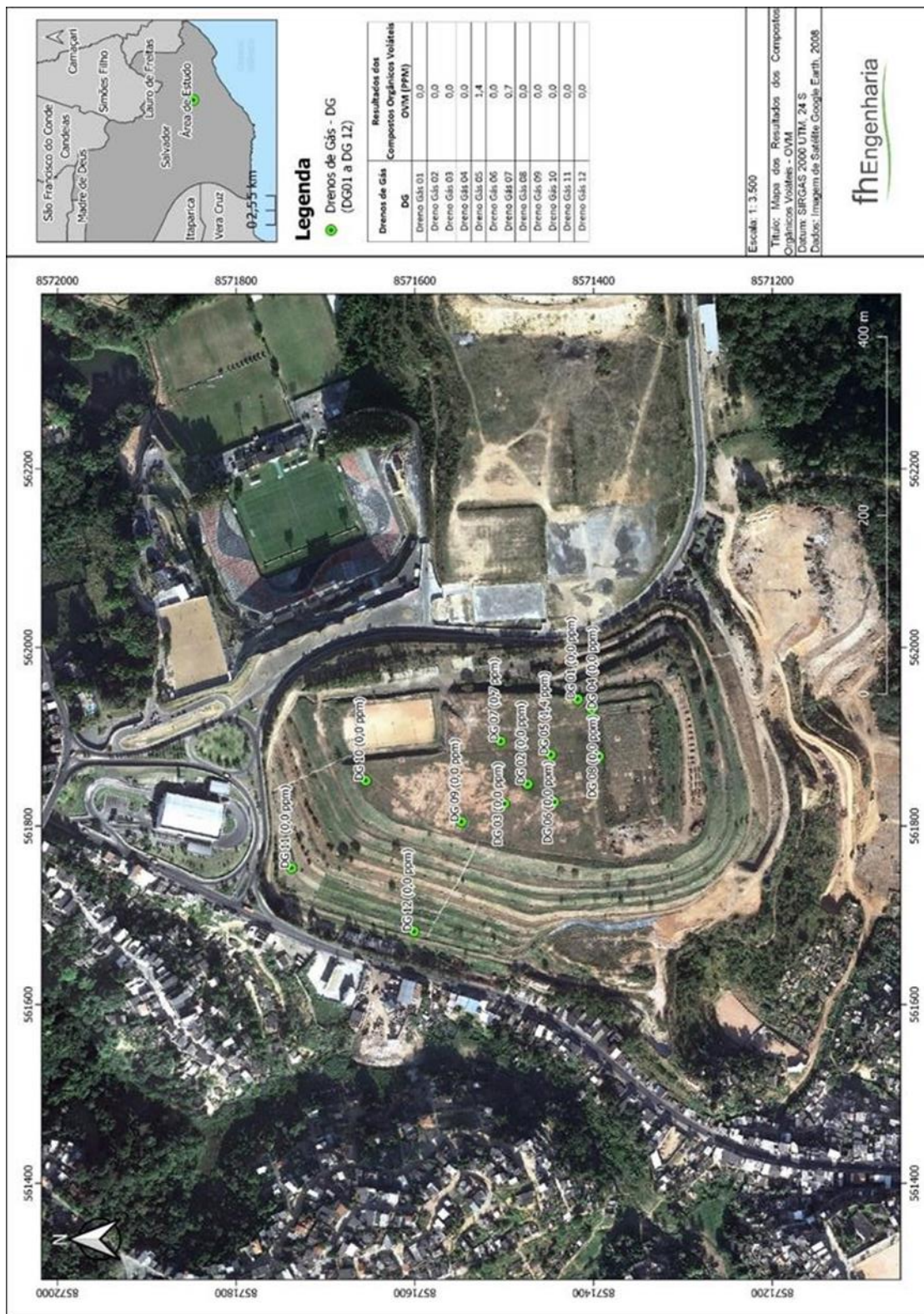


Figura 3.4: Mapa dos Resultados dos Compostos Orgânicos Voláteis Campanha - 27/11/23

4. NÍVEIS DE ÁGUA NOS DRENOS VERTICAIS

As direções de fluxo de água prováveis foram preliminarmente definidas com base nos níveis de Água (NA) levantados durante as campanhas realizadas. A malha amostral do presente monitoramento foi composta por 12 drenos de Gás aos que se teve acesso. O **Quadro 4.1** apresenta os níveis da água encontrados e suas respectivas coordenadas.

A partir desses dados é possível concluir que o fluxo subterrâneo (chorume) na área investigada, tende ao sentido leste-oeste, em direção a encosta maior do Maciço do Aterro (Etapa A) voltada para bacia do Riacho Trobogi. A representação desses pontos e o fluxo da água podem ser verificados nas **Figura 4.1 e 4.2**, a partir das informações contidas obtidas nas campanhas realizadas.

Quadro 4.1: Nível de Água subterrânea – chorume - no Maciço do Aterro (Etapa A)

POÇOS	Data	Coord. Latitude / Longitude	Cota da boca do Poço (m)	Profundidade da Água subterrânea – chorume (m)	Nível de Água subterrânea – chorume
	Monit.	UTM - 24L	(m)	(m)	(m)
Dreno Gás 1	04/04/2024	561942/8571418	88,92	3,45	85,47
	12/04/2024			4,80	84,12
Dreno Gás 2	26/03/2024	561847/8571474	88,35	7,24	81,11
	04/04/2024			7,37	80,98
	12/04/2024			7,44	80,91
Dreno Gás 3	27/11/2023	561825/8571500	88,43	8,80	79,63
	04/04/2024			6,63	81,80
	12/04/2024			6,12	82,31
Dreno Gás 4	04/04/2024	561931/8571402	88,70	4,79	83,91
Dreno Gás 5	27/11/2023	561880/8571448	87,45	6,29	81,16
Dreno Gás 6	26/03/2024	561827/8571444	88,50	7,56	80,94
Dreno Gás 7	26/03/2024	561895/8571504	87,16	5,98	81,18
Dreno Gás 8	27/11/2023	561878/8571394	90,40	8,8	81,60
Dreno Gás 9	04/04/2024	561805/8571548	87,58	4,83	82,75
Dreno Gás 10	04/04/2024	561851/8571655	88,20	5,0	83,20
Dreno Gás 11	12/04/2024	561753/8571738	53,95	6,87	47,08
Dreno Gás 12	12/04/2024	561682/8571601	52,63	6,17	46,46
	27/11/2023			6,75	45,88

Fonte: FH Engenharia Ltda, Legenda: PM: Poços de Monitoramentos

A **Figura 4.1** mostra em escala ($H=1x$ e $V=4x$) um perfil do aterro com níveis e profundidades da água subterrânea (chorume), cabendo destacar:

- A profundidade do nível d'água situa-se entre 6,0 e 8,0 m no “plano” do topo do aterro e tende a variar ao longo do ano em função das chuvas. É recomendável a implementação de um programa de monitoramento com frequência quadrimestral por um período mínimo de 3 anos.
- A zona insaturada situada acima do nível d'água deve ser mantida com saída livre de gases, para afastar o risco de formação de bolsões de gases que sempre apresentam um caminho vertical e podem quando acumulados comprometer a estabilidade da encosta do aterro. Atualmente a mesma já não apresenta boa estabilidade devido a erosões, má drenagem e a própria natureza e compactação do material aterrado. Foram observadas na cobertura vegetal da encosta várias árvores com troncos bastante inclinados indicando movimentação do solo e isto também vem sendo percebido pela construtora responsável pelo estacionamento, já que o muro de isolamento vem sendo recuado para sua própria preservação.
- Os dados levantados sugerem que o “lençol freático” tende a “mergulhar” acompanhando a encosta mantendo-se em profundidades semelhantes àquelas determinadas no topo do Aterro Fase A. O nível médio do freático monitorado no topo do aterro se aproxima ao plano do platô correspondente à última berma do aterro. Este aspecto precisa ser confirmado em campanhas futuras.

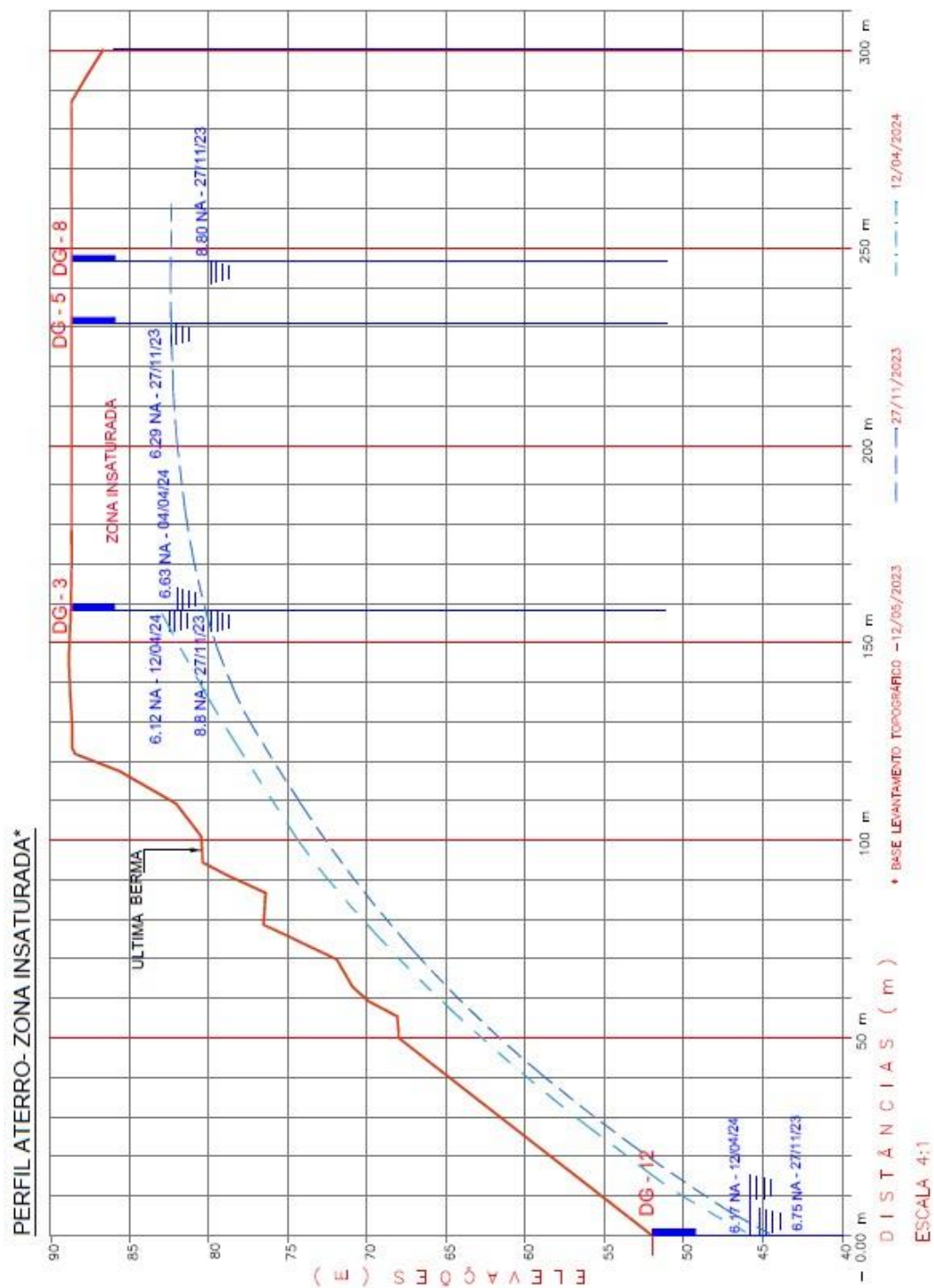


Figura 4.1

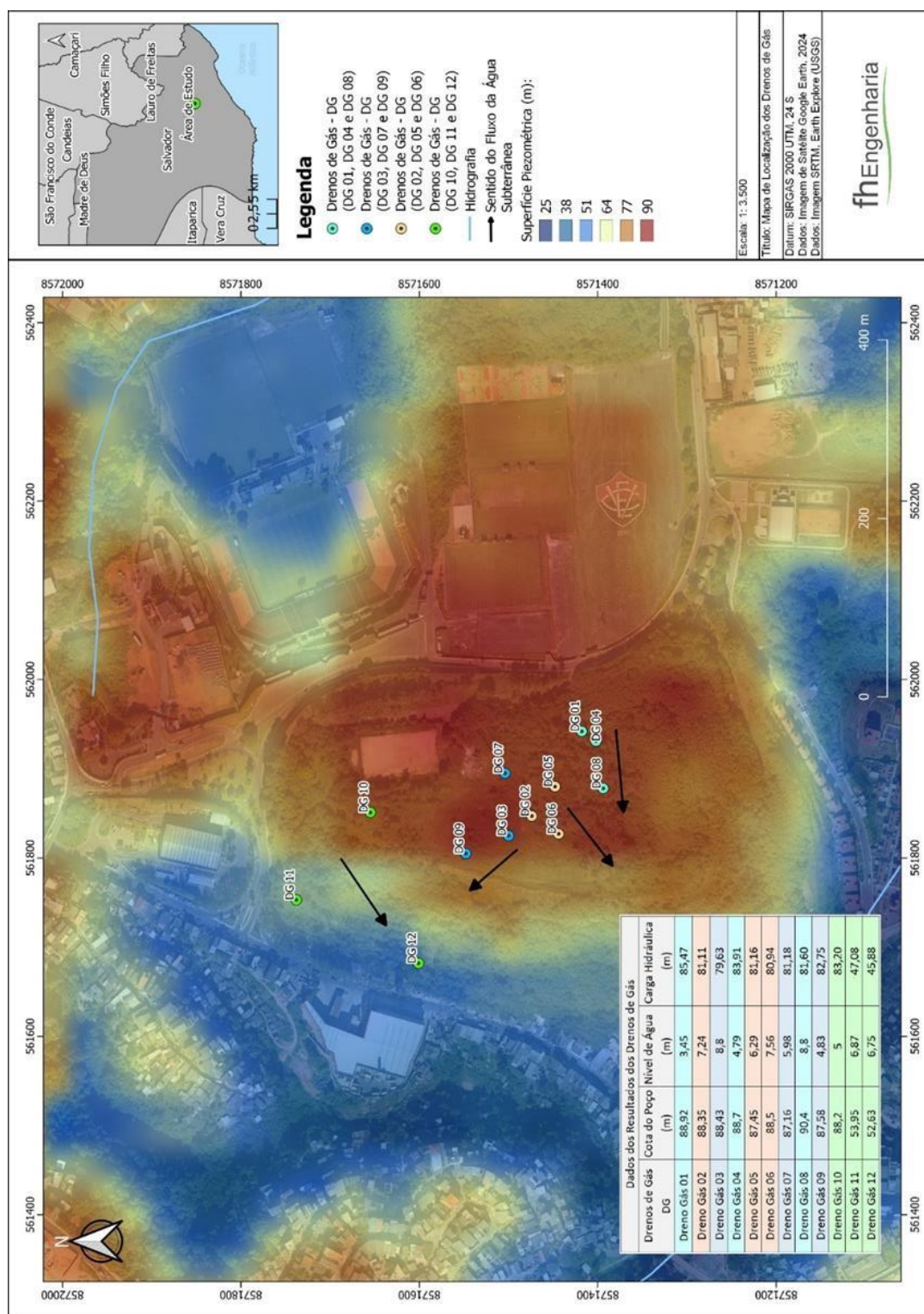


Figura 4.2: Mapa dos poços de monitoramento indicando o fluxo da água subterrânea.

5. QUALIDADE DO CHORUME E GERAÇÃO DE BIOGÁS

A quantidade e qualidade dos líquidos percolados gerados durante as operações de disposição final de resíduos sólidos urbanos e após o encerramento das mesmas, depende da **idade do lixo aterrado**, das técnicas de manejo do chorume e principalmente da **quantidade de água que tem acesso ao aterro**, fator relacionado a pluviometria local e a cuidados com recobrimento.

O maciço do antigo Aterro de Canabrava, correspondente a denominada Fase A, teve o recebimento de lixo encerrado a cerca de 30 anos. Ao longo deste último período a cobertura da área de topo do aterro é constituída por uma camada de solo argiloso arenoso compactada sendo até agora ocupada parcialmente por um campo de futebol. No momento está sendo implantado um grande estacionamento com pavimentação asfáltica que deverá ocupar 37% da superfície total.

Com o objetivo de obter dados consistentes para planejar o manejo e controle ambiental do chorume e gases gerados atualmente no aterro, foi feita uma abordagem para caracterização dos mesmos com base nos seguintes elementos:

- Obtenção de três amostras representativas do chorume gerado para análises em laboratório certificado de DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO - Demanda Química de Oxigênio, Carbono Orgânico Total (COT), Fósforo (P), Alcalinidade devido a Carbonato e Nitrogênio Amoniacal;
- Comparação das características e dados típicos da composição do chorume para aterros novos (< 2 anos) e antigos (> 10 anos), com base na literatura técnica sobre o assunto.

Quadro 5.1: Características Atuais do Chorume Aterro Canabrava - 2024

Parâmetro	Unidade	Resultado		
		Chorume – Drenos verticais no Topo do Aterro	Chorume – Dreno vertical no Pé do Aterro	Chorume Drenagem horizontal p. rua
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	15,60	28,98	28,31
DQO - Demanda Química de Oxigênio	mg/L	65,00	87,00	78,00
Relação DQO/DBO	-	4,16	3,0	2,75
Carbono Orgânico Total (COT)	mg/L	33	86	40
Fósforo (P)	mg/L	< 0,10	< 0,10	-
Alcalinidade devido a Carbonato	mgCaCO ₃ /L	< 6,0	< 6,0	< 6,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	174	166	-
Dureza Carbonatada	mg/L	724	2546	-

O **Quadro 5.2** é uma referência de uso técnico consagrado e mostra dados representativos das características de chorume, tanto para aterros novos com para mais antigos (maturados).

Quadro 5.2: Dados típicos da composição do chorume para aterros novos e antigos (TCHOBANOGLIOUS 1993).

PARÂMETROS	Novos Aterros (<2 anos)		Aterros Antigos (> 10 anos) (mg/l)
	Faixa de variação (mg/l)	Típico (mg/l)	
DBO ₅	2000-30000	10000	100-200
COT	1500-20000	6000	80-160
DQO	3000-60000	18000	100-500
SSt	200-2000	500	100-400
TKN	10-800	200	80-120
N anoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo Total	4-100	30	5-10
Alcalinidade (CaCO ₃)	1000-10000	3000	200-1000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza Total (CaCO ₃)	300-10000	3500	200-500

Os resultados analíticos das três amostras representativas e os valores de literatura adotados na caracterização e enquadramento do chorume atual da Fase A do Aterro Canabrava mostram os seguintes aspectos:

1. As concentrações de carga orgânica determinadas pela DBO = (15 a 29 mg/l), pela DQO = (65 a 87 mg/l) e pelo COT= (36 a 86 mg/l) obtidas a partir de amostragem representativa no Aterro Canabrava confirmam que se trata de um *chorume antigo*, líquido estabilizado e maturado com baixa carga orgânica.
2. O chorume amostrado em três pontos não tem características que indiquem grande potencial de produção de biogás, porém algum gás poderá ser gerado, conforme já determinado em campo, face as quantidades expressivas de lixo acumulado depositado e fluxo de líquidos através o maciço do aterro
3. A temperatura ambiente em faixa média de 25 °C a 32°C e o pH do chorume maturado em faixa neutra (7 a 8) indicam que não haverá dificuldade para disposição final controlada.
4. Quanto as concentrações de nutrientes no chorume, a disponibilidade nitrogênio fósforo são baixas, porém ainda suficientes para sustentar atividade biológica mínima no maciço do aterro com baixa produção de biogás.

O **Quadro 5.3** resume Características Físico-Químicas e Biológicas de Chorumes Brutos na RMS, estes claramente caracterizáveis como Chorumes de Aterros Novos com maiores capacidades de geração de biogás. Ver **Gráficos 5.1 a 5.5**. Características de Chorume Bruto Aterros Novos e Velho (Aterro Canabrava).

Quadro 5.3: Características de Chorume Bruto Aterros Novos

Chorume Bruto Típico	Und	Resultados Médios		
		Sto Antônio de Jesus	Aterro Metropolitano Centro Salvador	Camaçari
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	2916	5087	-
DQO - Demanda Química de Oxigênio	mg/L	7653	8005	4966
Relação DQO/DBO	mg/L	2,62	1,57	-
Fósforo (P)	mg/L	14	22,2	17,5
Alcalinidade devido a Carbonato	mg/L	3600	-	10800
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	868	-	2480
Dureza Carbonatada	mg/L	-	-	497

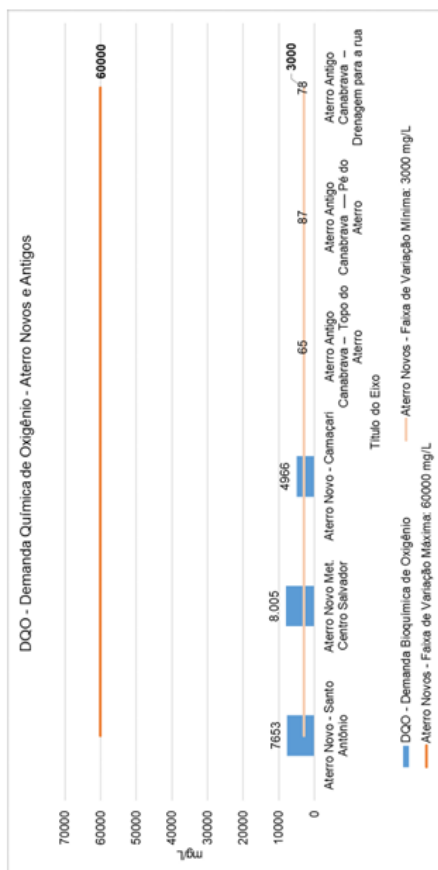


Gráfico 5.2

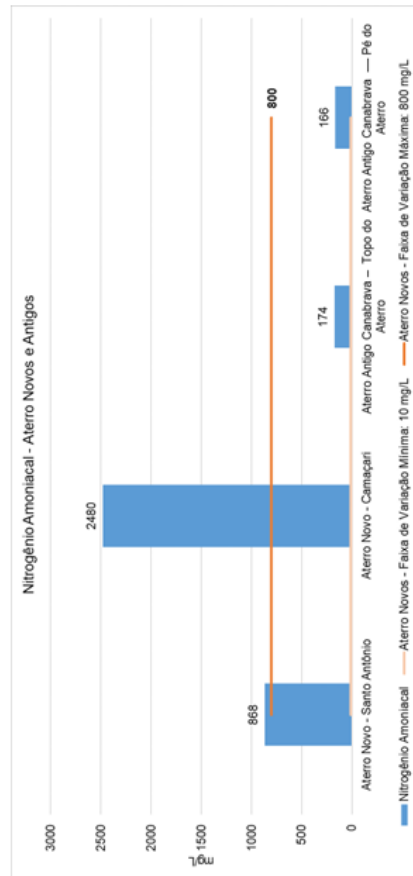


Gráfico 5.4

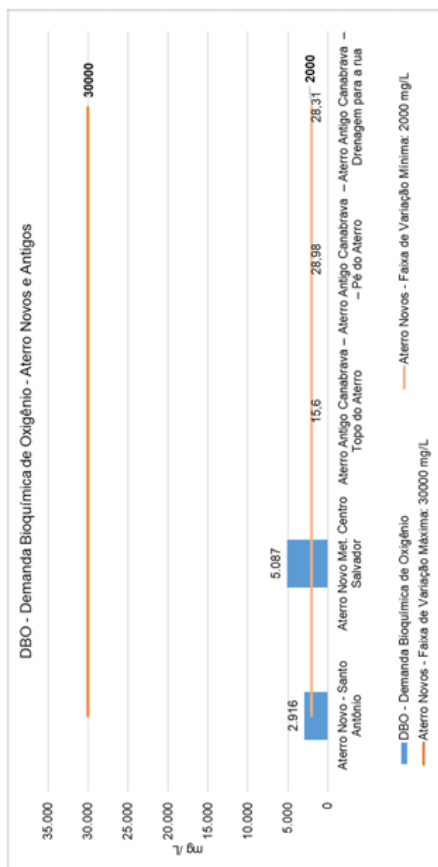


Gráfico 5.1

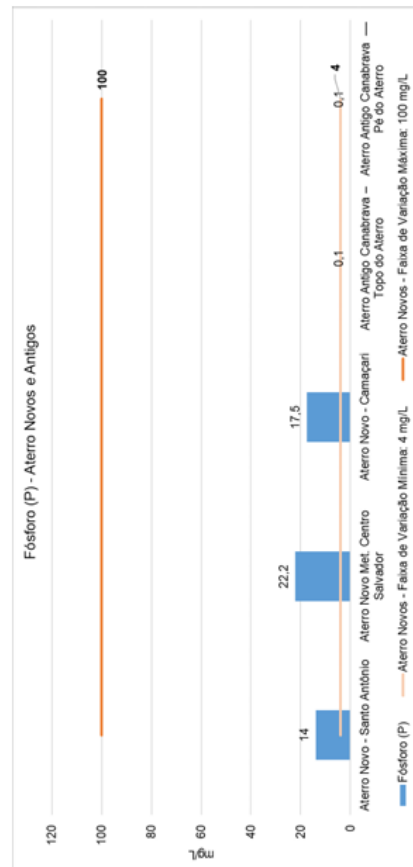


Gráfico 5.3

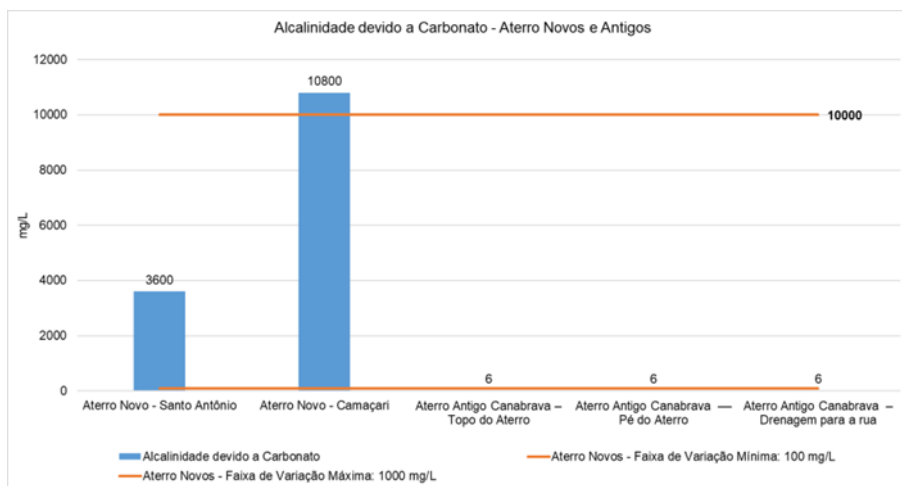


Gráfico 5.5

6. COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

O chorume amostrado não tem características que indiquem grande potencial de produção de biogás, porém algum gás ainda será gerado, conforme já determinado em campo, pois existem quantidades expressivas de lixo acumulado depositado no maciço do aterro. As concentrações de nutrientes no chorume monitorado, mostram baixa disponibilidade de fósforo e mediana de nitrogênio, ainda suficientes para sustentar atividade biológica no maciço do aterro com baixa, porém efetiva, produção de biogás.

O asfaltamento com impermeabilização de 37% da área de topo da Fase A do antigo Aterro Canabrava será positiva sob vários aspectos, inclusive na redução da contribuição de águas pluviais para o interior do maciço. Ver **Figura 6.1**. No entanto cuidados devem ser tomados para que o biogás formado não se acumule e venha a formar bolsões de gases capazes de aumentar a instabilidade da encosta que tem cerca de 50m de altura. A situação quanto a estabilidade é diferente neste estacionamento se comparado ao existente sobre parte do Aterro mais antigo da Fase B já asfaltado anteriormente. No estacionamento sobre a Fase B a encosta na parte mais alta ao longo da estrada de acesso alcança no máximo 5 m de altura e conta inclusive com algumas estruturas de contenção. Essa própria via de acesso principal se assenta sobre terreno natural e também serve de contenção para o aterro Fase B (mais antigo) na parte que foi asfaltado anteriormente.

Sendo assim devem ser mantidos livres drenos para monitoramento e exaustão de forma evitar o acúmulo de biogases já que esses sempre escapam verticalmente. Um bolsão de gás confinado sob o asfalto exerceria pressões laterais e tenderia a gerar pressões internas capazes de alterar a estabilidade da encosta do Aterro FaseA.

Recomenda-se a preservação e proteção dos drenos de gases identificados no topo do aterro no levantamento topográfico de 2023 fornecido pela Prefeitura para manter o equilíbrio atualmente existente:

- 10 na área asfaltada do futuro estacionamento;
- 8 na área livre não pavimentada correspondente ao antigo espaço de destinação de lixo hospitalar e campo de futebol com vegetação situada em torno do futuro estacionamento.

Todos os drenos já identificados pelo topografo na encosta do aterro Fase A também devem ser preservados. Recomenda-se a realização de levantamento topográfico complementar, quando o clima permitir para identificar todo conjunto de drenos de gases existentes na encosta que se pode perceber em imagem antigas de satélites.

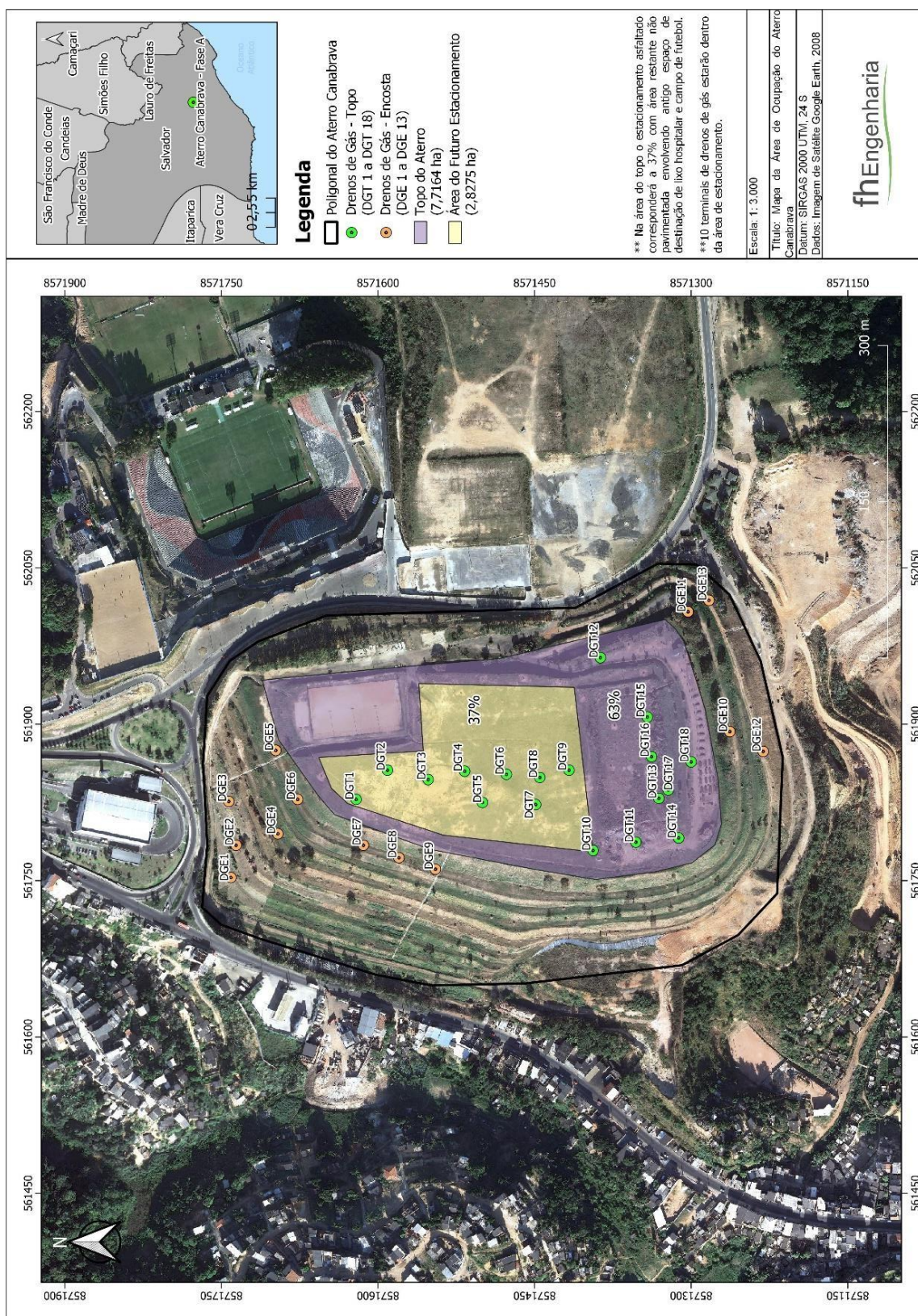


Figura 6.1: Mapa da Área de Ocupação do Aterro

No **Anexo I** as figuras apresentam modelos de proteção dos terminais dos Drenos Verticais a preservar. Devem ser mantidos livres trocando ar e biogás com a atmosfera evitando ao mesmo tempo que o trânsito de veículos no estacionamento venha a provocar ignição do biogás no terminal (boca) do dreno.

Em ambos modelos os drenos serão prolongados com um tubo de aço carbono, material não combustível, instalados dentro de um tubo de concreto preenchido por areia e brita para não permitir acúmulo de gases e ao mesmo tempo permitir alguma infiltração de águas direta e verticalmente incidentes. Haverá um contorno de meio-fio para afastamento das chuvas drenadas. A tampa de acesso ao dreno deverá ser pesada com dois rasgos para suspensão da mesma, mas que também servirão para a saída e entrada de gases, já que a zona vadosa não saturada é limitada por um “lençol freático” de nível variável ao longo do ano. Busca-se assim controlar um fator para a formação de bolsões de gás que podem contribuir para a instabilidade da encosta.

É muito importante que se ponha em prática ao longo dos próximos 3 anos alguns **programas de monitoramento e controle do maciço**, topo e encosta do **Aterro Canabrava Fase A**, sendo os principais:

- Monitoramento geotécnico e geométrico semestral da encosta e topo do aterro;
- Monitoramento quadrimestral da variação dos níveis d'água nos drenos verticais com análise de campo da água e gases emanados;
- Monitoramento semestral da qualidade da água (chorume) em 2 ou 3 pontos selecionar;
- Desenvolver um programa de controle de erosão para a encosta do aterro nos moldes do divulgados pela Embrapa, considerando inclusive a presença inadequada e dominante de vegetação arbórea.

CAPÍTULO 2: PROJETO DE DRENAGEM E ESTUDO HIDROLÓGICO PARA A ÁREA DE TOPO DO ATERRO CANABRAVA - FASE A E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO MACIÇO E ENCOSTAS

1. CONTEXTO

Apresenta-se neste documento o memorial descritivo e justificativo do Projeto de drenagem da água pluvial da área do topo do Aterro Canabrava – Fase A em Salvador – Bahia.

O asfaltamento, já em curso, com impermeabilização de 37% da área de topo da Fase A do antigo Aterro Canabrava será positiva sob vários aspectos, inclusive na redução da contribuição de águas pluviais para o interior do maciço. No entanto outros cuidados precisarão ser tomados especificamente o controle biogás formado para não se acumule e venha a formar bolsões de gases e o controle e rebaixamento do nível de água subterrânea no interior do maciço do aterro, ambos capazes de aumentar a instabilidade da encosta que alcança 50m de altura.

Pela sua posição topográfica de topo, este trecho recebe contribuição de drenagem limitada, restrita a própria área de topo parcialmente asfaltada com declividade longitudinal favorável a alcançar a bacia do Rio Trobogi. São atendidas nesse projeto as áreas de topo do Aterro Canabrava-Fase A captando e afastando as águas pluviais das encostas. A drenagem das encostas não foi abrangida neste projeto pois as mesmas encontram-se erodidas, sem conformação geométrica regular e ocupadas por vegetação arbórea inadequada, fatores que aumentam o risco de instabilidade das mesmas. O estudo ora apresentado avalia de forma preliminar a estabilidade do maciço e suas encostas, propondo-se se promova desde já o monitoramento geométrico e geológico do Aterro Canabrava - Fase A.

As considerações adotadas neste projeto de intervenção de drenagem foram propostas com a finalidade principal de obedecer aos critérios de drenagem urbana, respeitando cotas de lançamento na linha de drenagem natural, e objetivando incorporar-se ao planejamento urbano da área, com o sítio do Aterro e com o meio sócio ambiental. As premissas básicas deste projeto básico foram de manter o controle e disciplinamento do escoamento das águas de chuvas, evitando-se assim alagamentos ou erosões.

2. JUSTIFICATIVA TÉCNICA

O estudo e o projeto, ora apresentados, justificam-se pela necessidade de construir uma estrutura singular de drenagem, que possibilite a coleta, o transporte e o lançamento das águas oriundas das precipitações que ocorrem dentro dos limites da bacia de contribuição, captando águas superficiais. A canalização dessas águas constitui uma intervenção de segurança para o aterro, saneamento básico e ambiental, para reduzir o risco de alagamento, erosões e infiltrações.

O estudo teve como objetivo a definição do tipo de drenagem a ser executada no perímetro interno do muro de fechamento do estacionamento asfaltado e na área de topo restante coberta com gramíneas e arbustos superficiais.

3. BACIA DE CONTRIBUIÇÃO

Para definir a bacia de contribuição foram realizadas visitas em campo, usados dados da SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission – NASA de 2018), as imagens de satélite do Google Earth de 2018 e o receptor Trimble DA2 GEO. Conforme **Figura 3.1**, é possível observar a bacia de contribuição com a área a ser pavimentada/compactada de 4,40 ha, correspondente ao estacionamento e campo de futebol e áreas exposta de aterro de 1,04 ha referente a parte desnuda do topo do aterro. Como pode ser visto na figura apresentada as bacias das áreas de topo tem as seguintes dimensões:

- Área asfaltada e campo de futebol = 4,40 ha = 0,0440 km² = 44.000 m²
- Área não pavimentada do topo = 1,04 ha = 0,0104 km² = 10.400 m²

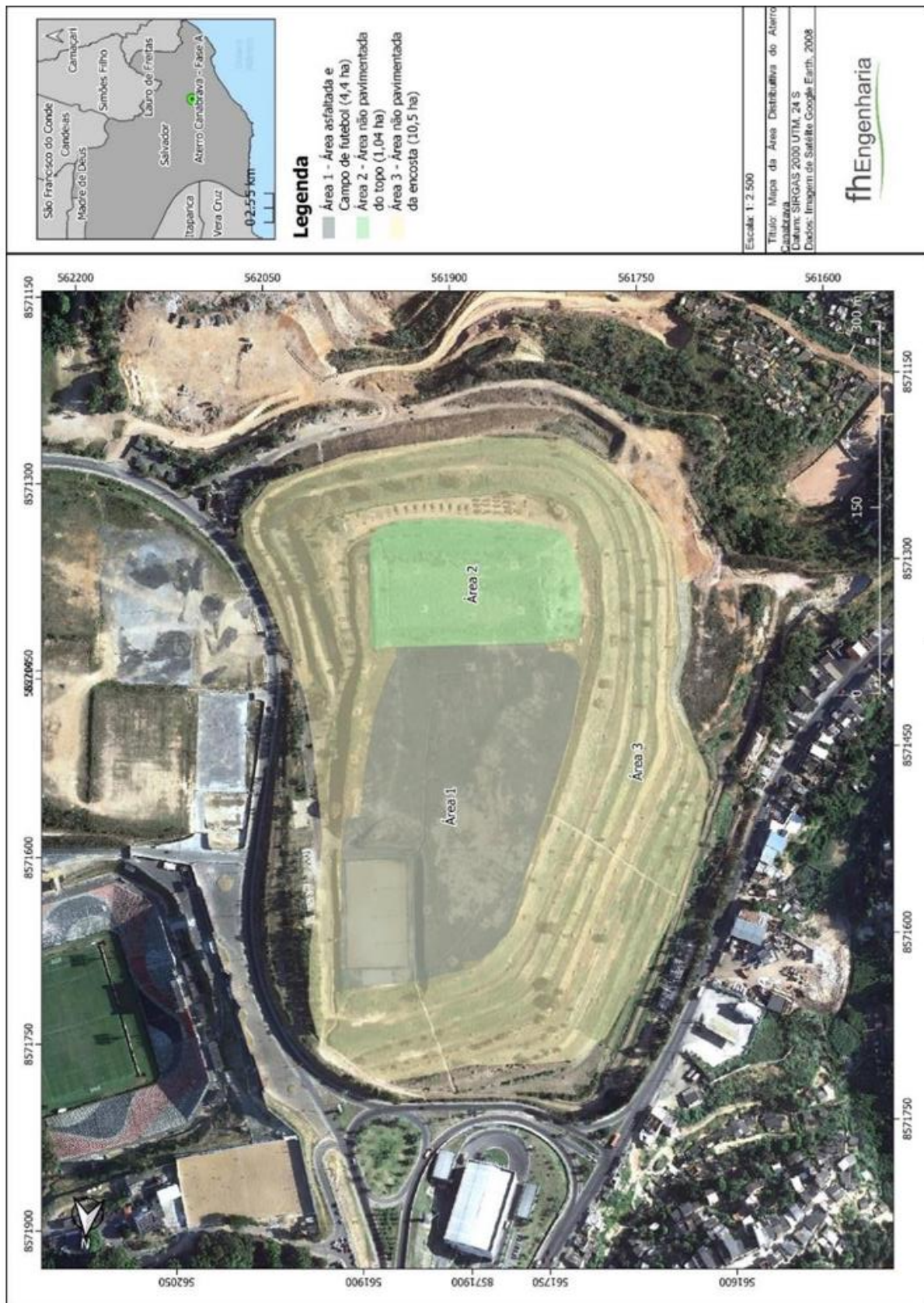


Figura 3.1 – Aterro de Canabrava – Áreas Pavimentadas e Desnudas.

3.1 Caracterização da Bacia de Contribuição

A bacia hidrográfica é um sistema dinâmico, inicialmente lapidado pelas ações da natureza e a partir de um determinado momento experimenta transformações aceleradas pelas ações do homem, o maior agente impactante. A urbanização é uma das ações humanas de maior impacto em uma bacia hidrográfica, onde pode-se registrar na ocupação do solo para sistemas urbanos, moradias, trabalho e lazer. Sendo as bacias hidrográficas áreas delimitadas por muros ou divisores de água, estas são também definidas por suas funções que é a de drenar as águas pluviais conduzindo-as até um corpo receptor hídrico.

A pavimentação asfáltica prevista para um estacionamento no topo do aterro e a implantação proposta de um sistema de drenagem de águas pluviais para área restante não pavimentada promoverá a redução da área exposta e consequente redução da geração de chorume.

No município de Salvador - Bahia, segundo a classificação Köppen e Geiger, o clima é classificado como Am (clima tropical úmido ou subúmido), inserido na zona tropical brasileira, tendo períodos com temperaturas médias no mês mais frio e na estação seca possuindo pouca duração. Apresenta precipitação médias climatológicas de valores calculados a partir de uma série de dados históricos de 30 anos do INMET, com meses de maior pluviosidade abril (298 mm) e Maio (299 mm). Enquanto que os meses de menor pluviosidade são: dezembro (76 mm) e janeiro (79 mm) (ver **Gráfico 3.1**). As médias apresentadas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos que configuram uma precipitação média anual de 1875 mm.

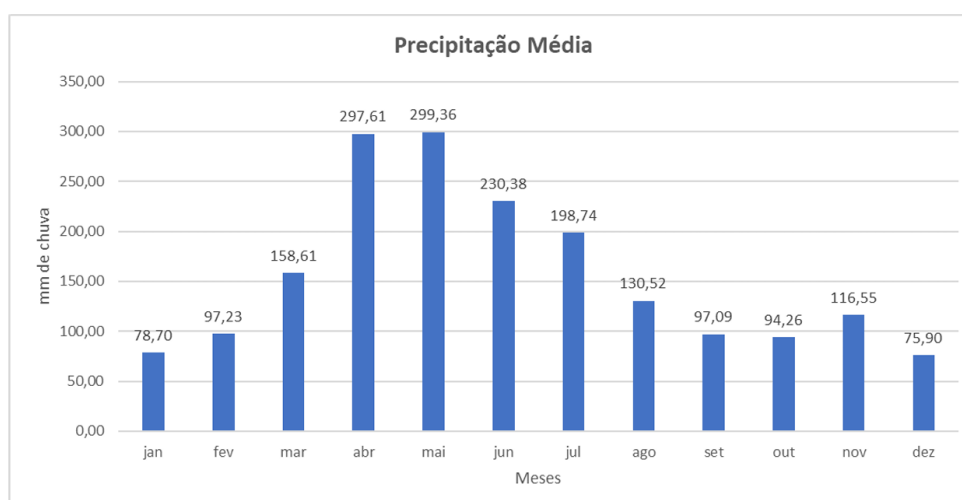


Gráfico 3.1 – Precipitações médias para o município de Salvador. Fonte: INMET – 2024.

3.2 Metodologia para definição da Bacia

A metodologia da construção e definição da Bacia foi realizada com base nos levantamentos topográficos fornecidos, imagens do Google e do satélite ALOS PALSAR **Figura 3.2**. Todos os serviços de levantamento topográfico foi obedecendo aos critérios estabelecidos em normas vigentes. Os estudos resumiram-se basicamente na elaboração de um levantamento planialtimétrico e semi-cadastral em questão.

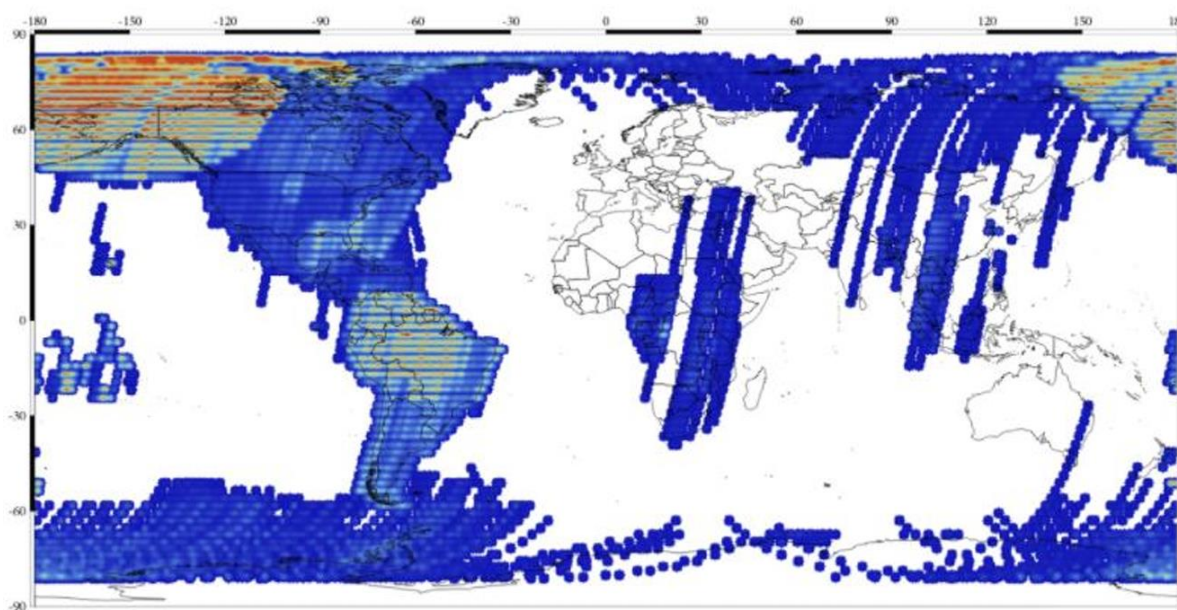


Figura 3.2 – Imageamento Global pelo Radar ALOS PALSAR. Fonte: ASF, 2022.

4. ESTUDOS

4.1 Estudos Topográficos

Os estudos topográficos utilizados para a elaboração deste projeto foram fornecidos pelo contratante, tendo sido também usados dados do Google Earth, 2022 e georreferenciadas para o sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, zona 24S, obedecendo aos critérios estabelecidos pelas normas vigentes.

4.2 Estudos Hidrológicos

Os estudos topográficos utilizados para a elaboração deste projeto foram fornecidos pelo contratante, tendo sido também usados dados do Google Earth, 2022 e georreferenciadas para o sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, zona 24S, obedecendo aos critérios estabelecidos pelas normas vigentes.

4.2.1. Generalidades

Neste trabalho foram utilizadas também plantas do sistema Google e informações coletadas em campo, consideradas importantes para a obra em foco. A planta da bacia contribuinte e a da bacia hidráulica de contribuição que foi confeccionada em função desses dados e do sistema cartográfico citado. O presente memorial visa apresentar e justificar os parâmetros hidrológicos e a metodologia de cálculo para o projeto de drenagem.

4.2.2. Parâmetros Hidrológicos

Na determinação das descargas de projeto, foram utilizados os seguintes parâmetros, definidos a seguir:

- Equação das chuvas;
- Coeficiente de deflúvio;
- Tempo de concentração;
- Período de retorno.

4.2.3. Equação das Chuvas

As intensidades de precipitação foram determinadas com equação de chuvas para a região de Salvador, sendo:

$$I = \frac{1065,66 TR^{0,163}}{(Tc + 24)^{0,743}}$$

Onde:

I = intensidade da chuva em l/s.ha;

TR = tempo de recorrência em anos;

Tc = tempo de concentração em minutos.

Apresentamos as equações dos valores de “Frequência – Intensidade – Duração”, para o posto estudado, considerando os períodos de recorrência de TR= 5, TR = 50 e TR = 100.

4.2.4. Coeficiente de Deflúvio

A relação entre a parcela de água que escoar pela superfície de uma bacia hidrográfica e a quantidade total de água precipitada sobre a mesma, é denominada de coeficiente de deflúvio. O valor desse coeficiente está associado a uma série de fatores físicos, tais como natureza da camada superficial do solo, morfologia e relevo, cobertura vegetal, uso da terra e condições hidro climatológicas da região. Para área contribuinte de microdrenagem do estacionamento, onde prevalece área pavimentada foi escolhido o valor de $C = 0,95$, considerando grau de impermeabilização da área de intervenção, das condições urbana atual e em um cenário futuro. Para área contribuinte de microdrenagem da área não pavimentada do topo foi escolhido o valor de $C = 0,20$. No **Quadro 4.1**, apresentada adiante, encontram-se respectivamente os valores dos coeficientes de deflúvio “C” (para aplicação no Método Racional).

Quadro 4.1 – Valores dos coeficientes de deflúvio “C”.

CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO
Ruas	
Pavimento asfáltico	0,70 a 0,95
Pavimento em concreto	0,80 a 0,95
Passeios	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos relvados, solos arenosos	
Baixa declividade (até 2%)	0,05 a 0,10
Declividade média (de 2 a 7%)	0,10 a 0,15
Forte declividade (acima de 7%)	0,15 a 0,20
Terrenos relvados, solos argilosos	
Baixa declividade (até 2%)	0,15 a 0,20
Declividade média (de 2 a 7%)	0,20 a 0,25
Forte declividade (acima de 7%)	0,25 a 0,30

4.2.5. Tempo de Concentração

É definido como sendo o tempo necessário para que toda a área drenada passe a contribuir na seção de estudo. De maneira geral, o tempo de concentração de uma bacia qualquer depende de vários parâmetros tais como:

- Forma da bacia

- Área da Bacia
- Recobrimento vegetal
- Comprimento do talvegue
- Declividade do talvegue

Várias são as equações possíveis de serem utilizadas para a determinação deste tempo, entre elas foi utilizada a de Kirpich, a seguir transcrita:

$$T_c = 0,95 \cdot (L^3/H)^{0,385}$$

Fonte : TUCCI, Carlos E. M. – Hidrologia 1993

Onde:

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue, em quilômetros em km;

H = desnível entre o ponto mais afastado da bacia ou sub-bacia e a seção.

Para calcular o T_c (tempo de concentração) são necessários alguns dados de entrada:

Área Contribuinte Pavimentada (C = 0,95)

Talvegue: 275 m = 0,275 km

Cota maior: 89,00 m

Cota menor: 85,00 m

Desnível do Talvegue Δh : 4,00 m

Área de contribuição (A): 4,40 ha = 0,0440 km²

Área Contribuinte Não Pavimentada (C = 0,20)

Talvegue: 193 m = 0,193 km

Cota maior: 90,00 m

Cota menor: 89,00 m

Desnível do Talvegue Δh : 1,00 m

Área de contribuição (A): 1,04 ha = 0,0104 km²

4.2.6. Período de Retorno

O período de retorno representa o intervalo de tempo médio, em anos, em que se espera que um determinado evento venha a ser igualado ou superado, pelo menos uma vez. Este risco de ocorrência pode ser calculado através da fórmula teórica deduzida da teoria da probabilidade a seguir apresentada:

$$R = 100 \times [1 - (1 - 1/TR)^N]$$

Fonte : TUCCI, Carlos E. M. – Hidrologia 1993

Onde:

R = Risco em percentagem;

TR = Período de retorno em anos;

N = Vida útil da obra em anos.

Desta forma foram considerados tempos de recorrência de TR = 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos e uma vida útil de 10 anos para a estrutura de drenagem resultando: R5 = 100%, R10 = 100%, R15 = 99,90%, R25 = 98,31%, R50 = 86,73% e R100 = 63,39% chances de ocorrerem as chuvas de projeto, conforme **Quadro 4.2**.

Comumente são adotados os seguintes períodos de retorno, **conforme IS 203/2006, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT**.

DISPOSITIVOS	TR (anos)
Drenagem Superficial	5 e 10
Drenagem Subsuperficial	10
Bueiros tubulares	10/25
Bueiros Celulares	25/50
Ponte	100

O dimensionado para atender como dispositivos do canal de acordo com o DNIT é de drenagem superficial para uma vazão correspondente ao tempo de recorrência de 10 anos.

Quadro 4.2 – Probabilidade de chuvas

TR (anos)	Probabilidade de Ocorrer a Chuva RISCOS (%)
5	100,00
10	100,00
15	99,90
25	98,31
50	86,74
100	63,40

4.2.7. Áreas das Bacias Contribuintes

A melhor metodologia para a determinação das descargas de uma determinada bacia é definida em função de sua área, conforme IS 203/2006, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, os limites fixados são os apresentados na tabela a seguir:

DIMENSÃO DA BACIA	MÉTODO DE CÁLCULO
Área da Bacia ($A < 4 \text{ Km}^2$)	Método Racional
Área da Bacia ($4 \text{ Km}^2 < A < 10 \text{ Km}^2$)	Método Racional Corrigido ou SCS
Área da Bacia ($A > 10 \text{ Km}^2$)	Método do Hidrograma Triangular Unitário (HUT)

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT .

As áreas das bacias contribuintes foram denominadas de área pavimentada e não pavimentada. A área pavimentada com 4,40 ha e área não pavimentada com 1,04 ha, portanto será empregado o “método racional” como poderá visto nos itens a seguir, considerando que a área em estudo é menor que 4 Km^2 .

5. PROJETO

5.1 Concepção do Projeto de Microdrenagem

A concepção do projeto de drenagem propriamente dito, em sua essência caracterizou-se no dimensionamento das estruturas de drenagem com vistas a escoar todo o caudal oriundo das chuvas, captando e levando-os a local seguro. Para tanto é apresentado neste tópico à metodologia, os parâmetros, as plantas e

planilhas de cálculos com indicação de tipo, dimensões, localização e extensão previstas.

Para o desenvolvimento dos estudos e concepção do projeto, utilizaram-se os elementos básicos presentemente disponíveis, que estão relacionados a seguir:

- As descargas máximas da Bacia;
- Traçado em planta e perfil;
- A planta do levantamento topográfico;
- Os estudos hidrológicos para região;
- Informações e observações de campo sobre o comportamento das obras existentes.

5.1.1. Generalidades

Os estudos hidrológicos visam o conhecimento do regime hídrico da área onde se situa a intervenção proposta. O presente estudo foi desenvolvido de acordo com as normas técnicas vigentes e dos serviços de processamentos e análise dos dados levantados. O objetivo do estudo em questão foi definir as vazões para diferentes tempos de retorno. Com essas vazões em etapas futuras serão definidas a seção hidráulica, as cotas de implantação e dimensões das canaletas para o transpor o terreno.

5.1.2. Metodologia e Estudos das Soluções

A escolha dos elementos de drenagem mais apropriados para os locais onde se fizerem necessários a adoção dos mesmos, foi efetuada pelo Engenheiro Projetista de Drenagem, baseado na análise e processamento dos elementos supracitados, de forma a atender as recomendações e critérios estabelecidos, tendo em vista, também as peculiaridades da área e a finalidade das obras de drenagem.

Os estudos hidrológicos permitiram mensurar as vazões e descargas de projeto, nas quais se baseou o dimensionamento hidráulico.

Desta forma o sistema de drenagem de acordo com a natureza e função de cada dispositivo, para efeito de apresentação, ficou subdividido em:

- Drenagem superficial;
- Galerias Tubulares e Caixa de recepção.

5.1.3. Sistema de Drenagem Proposto

O sistema de drenagem será constituído pelos seguintes dispositivos:

- Canaletas trapezoidal, sarjetas e sarjetão;
- Caixas de ligação e/ou passagem;
- Ligação tubular de concreto;
- Entradas e descidas d'água.

Após a avaliação hidráulica destes dispositivos em relação às várias situações em que se encontram inseridos, foram adotados como base os detalhes constantes do Álbum de Projetos Tipos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

A boca de lobo do sistema de drenagem deve ser colocada no ponto em que a vazão que escoar pela sarjeta torna-se superior à capacidade admissível naquele trecho de sarjeta. Neste ponto, a sarjeta não é capaz de conter o escoamento superficial sem ocorrência de transbordamento; assim, é necessário iniciar o sistema de galerias para receber o escoamento. Esta vazão é calculada pelo método racional no ponto imediatamente à montante do trecho de sarjeta.

A bocas de lobo (poço de visita ou caixa de passagem) é feita com galerias cuja declividade mínima deve ser de 0,5%. As capacidades destes ramais e os diâmetros são apresentados na planta de rede.

5.1.4. Vazões de Projeto

O presente trabalho considerou as vazões hidrológicas calculadas para períodos de retorno de TR = 5 a TR = 100 anos e o estudo da bacia hidráulica de montante à obra, conforme **Quadro 5.1 e 5.2**.

As vazões de projeto para a bacia contribuinte, foram efetuadas mediante o emprego do Método do Racional. No Método do Racional, são empregadas as seguintes equações:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{1000}$$

Fonte : TUCCI, Carlos E. M. – Hidrologia

Onde:

C = Coeficiente de escoamento superficial;

I = Intensidade pluviométrica em l/s.ha;

A= Área da Bacia de contribuição em hectares;

Q = Vazão em m³/s.

Quadro 5.1: Área Contribuinte Pavimentada e vazões para TR de 5 anos a TR de 100 anos.

TR	C	TC	Intensidade (l/s x ha)	Área da Bacia (ha)	Vazão (m³/s)
5	0,95	7,53	106,67	4,4	0,44589
10	0,95	7,53	119,43	4,4	0,49922
15	0,95	7,53	127,59	4,4	0,53333
25	0,95	7,53	138,67	4,4	0,57964
50	0,95	7,53	155,26	4,4	0,64897
100	0,95	7,53	173,83	4,4	0,72660

Quadro 5.2: Área Contribuinte Não Pavimentada e vazões para TR de 5 anos a TR de 100 anos.

TR	C	TC	Intensidade (l/s x ha)	Área da Bacia (ha)	Vazão (m³/s)
5	0,20	8,52	104,23	1,04	0,02168
10	0,20	8,52	116,69	1,04	0,02427
15	0,20	8,52	124,66	1,04	0,02593
25	0,20	8,52	135,49	1,04	0,02818
50	0,20	8,52	151,70	1,04	0,03155
100	0,20	8,52	169,84	1,04	0,03533

5.2 Parâmetros de Projeto

5.2.1. Diâmetro Mínimo da Rede

O diâmetro mínimo da rede de drenagem de $\varnothing = 0,60\text{m}$ da área pavimentada e $\varnothing = 0,20\text{m}$ da área não pavimentada, foi fixado acima do estabelecido conforme recomendação do DNIT. O diâmetro foi calculado com base na seguinte equação:

$$D = 1,55 [(Q \cdot n) / i^{1/2}]^{3/8}$$

Onde:

Q = capacidade de descarga, m^3/s ;

D = Diâmetro em m;

n = coeficiente de rugosidade;

i = declividade de implantação, m/m.

Diâmetro da Bacia de Contribuição Área Pavimentada	
Capacidade de descarga, m^3/s (TR=100)	0,72
Coeficiente de rugosidade	0,013
Declividade de implantação, m/m	0,015
Diâmetro mínimo em m	0,591

Diâmetro da Bacia de Contribuição Área não Pavimentada	
Capacidade de descarga, m^3/s (TR=100)	0,03
Coeficiente de rugosidade	0,013
Declividade de implantação, m/m	0,05
Diâmetro mínimo em m	0,221

Os Desenhos **DRE-001_R0** e **DRE-002_R0** são apresentados no **Anexo III**.

6. ESPECIFICAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A execução dos Serviços de regularização do solo e terraplenagem e drenagem do acesso se norteará pelas Especificações Gerais do DNIT e do DERBA. Relaciona-se a seguir as principais especificações aplicáveis.

SERVIÇOS	ESPECIFICAÇÃO
Terraplenagem	
Serviços preliminares	DNER-ES-278/97
Caminhos de serviços	DNER-ES-279/97
Execução de aterro	DNER-ES-282/97
Remoção de solos moles	DERBA-ES-T-05/01
Empréstimos	DNER-ES-281/97
Drenagem	
Bueiros celulares	DNER-ES-286/97

Para o perfeito funcionamento hidráulico do sistema, estamos propondo as seguintes recomendações:

- Manutenção rigorosa dos dispositivos de drenagem: Devem ser limpos periodicamente, para evitar sua obstrução por lixos e detritos, e outros objetos caídos e lançados pelos usuários das vias e de edificações vizinhas. Da qualidade dessa manutenção, dependerá o bom funcionamento de todo sistema projetado.
- As tampas e laje devem ter coberturas removíveis para facilitar a limpeza periódica da estrutura.

Devido a deficiência das informações topográficas nas plantas desatualizadas do sistema cartográfico no local da obra, e também pelo fato da intervenção ser dirigida para uma área já consolidada, torna-se indispensável à locação do projeto, ora apresentado, a partir do ponto inicial e final dos pontos de descargas. De posse desses elementos, pode ser executada, com os devidos ajustes, a proposta prevista de intervenção. Alguns ajustes de implantação dos dispositivos de drenagem podem ser necessários, na locação da obra, em função da cota das linhas de drenagem natural, e da posição da rede de galeria existente.

- Executar locação das obras a partir do ponto de descarga, objetivando garantir as declividades de projeto e a saída livre das águas.

- Executar concordância com estruturas existentes que vão ser aproveitadas e fazer o cálculo estrutural dos dispositivos de drenagem

7. ELEMENTOS E ESTRUTURAS CONSTITUINTES DE UM ATERRO SANITÁRIO

Os elementos que constituem um aterro sanitário são:

Aterramento - processo pelo qual os resíduos sólidos são colocados no aterro sanitário. Esse processo inclui o monitoramento dos resíduos que entram no aterro, a disposição e a compactação dos resíduos, e a instalação de sistemas de monitoramento ambiental e de sistemas de controle;

Célula - é o termo utilizado para descrever o volume de material colocado no aterro durante um determinado período de operação, geralmente um dia (**Figura 7.1**). Uma célula inclui os resíduos depositados e o material de cobertura diária que os encobre. Uma *camada* de resíduos do aterro é uma sequência de células numa mesma altura do aterro. Aterros típicos são constituídos de várias camadas sobrepostas;

Cobertura diária - consiste em uma camada de 15 a 30 cm de solo local ou outro material alternativo como composto ou entulhos da construção beneficiados que são colocados sobre as frentes de trabalho ao final de cada jornada de trabalho;

Patamares (ou terraços) - são utilizados quando a altura do aterro exceder 15 a 20 m. Os patamares são utilizados para manter a estabilidade dos taludes do aterro, para a colocação de drenagem de águas pluviais, para a colocação de redes de drenos de biogás, e para o trânsito de veículos e máquinas na manutenção futura dos taludes;

Camada de cobertura final - é colocada sobre o aterro quando todas as operações do aterro estão completadas. Esta camada normalmente consiste de várias camadas de solo e/ou geomembrana projetadas para melhorar a drenagem superficial, diminuir a infiltração de água da chuva no aterro, controlar e emissão de gases, e dar suporte a revegetação;

Encerramento do aterro - é o termo utilizado para descrever os passos que devem ser dados para encerrar em segurança um aterro que teve seu volume completado. Cuidados de pós-encerramento referem-se a atividades monitoramento e manutenção de longo prazo do aterro após o seu encerramento (usualmente 30 a 50 anos).

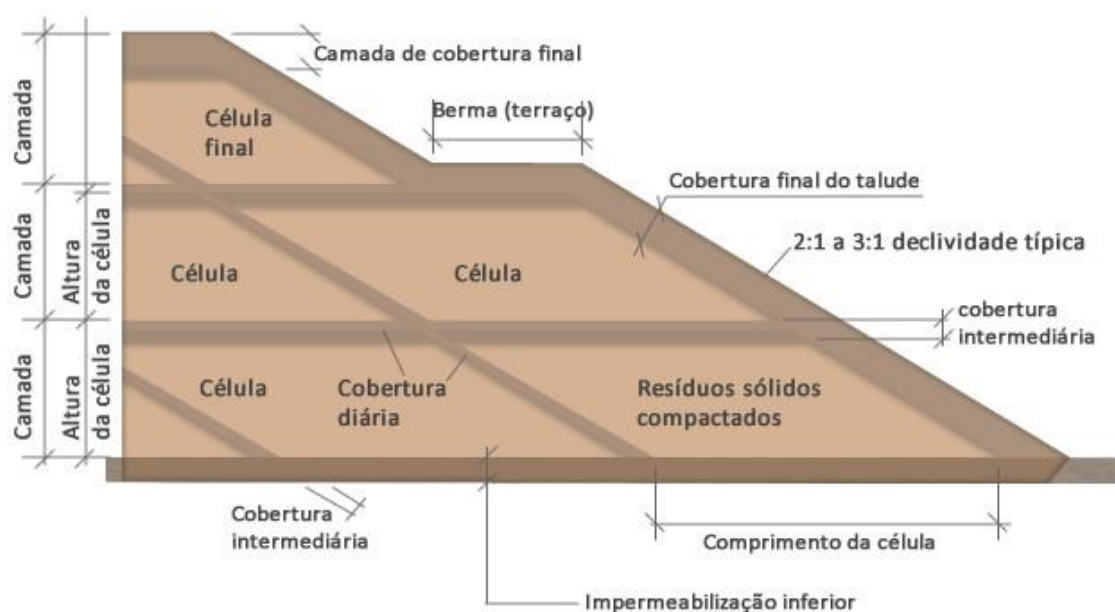


Figura 7.1: Principais elementos em um aterro sanitário.

8. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

A **Figura 8.1** mostra a localização do Aterro Canabrava com uma “Linha da Encosta”, onde foi traçado o perfil do topo do aterro até a base e feito o estudo de estabilidade da encosta. A **Figura 8.2** mostra a hipsometria do Aterro Canabrava com Transparência. A **Figura 8.3** mostra a localização dos pontos analisados das **Fotos 8.1 a 8.14**, que mostram a condição do topo do aterro e talude, em visita realizada em 20 de junho de 2024.

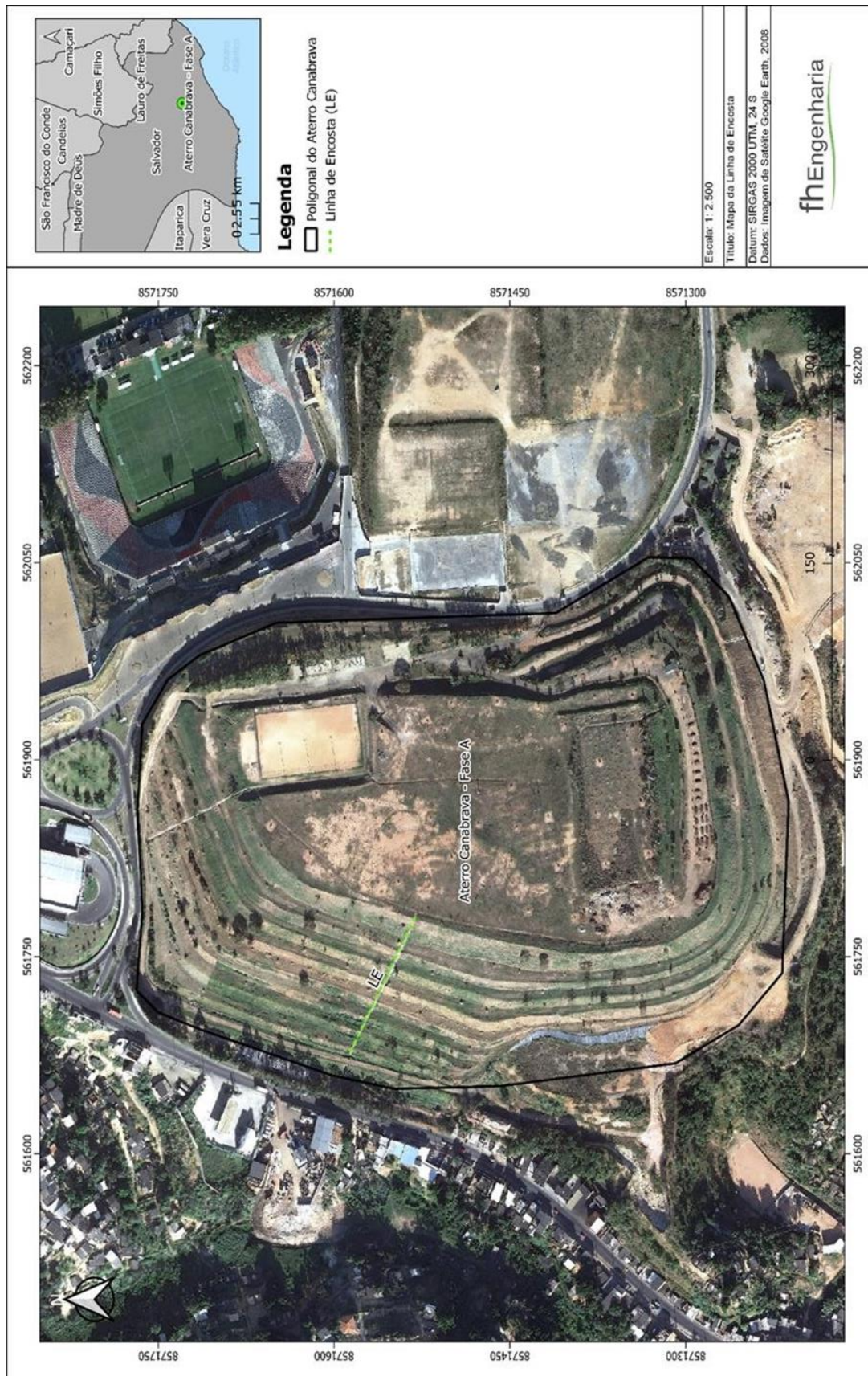


Figura 8.1: Mapa de Localização do Aterro Canabrava

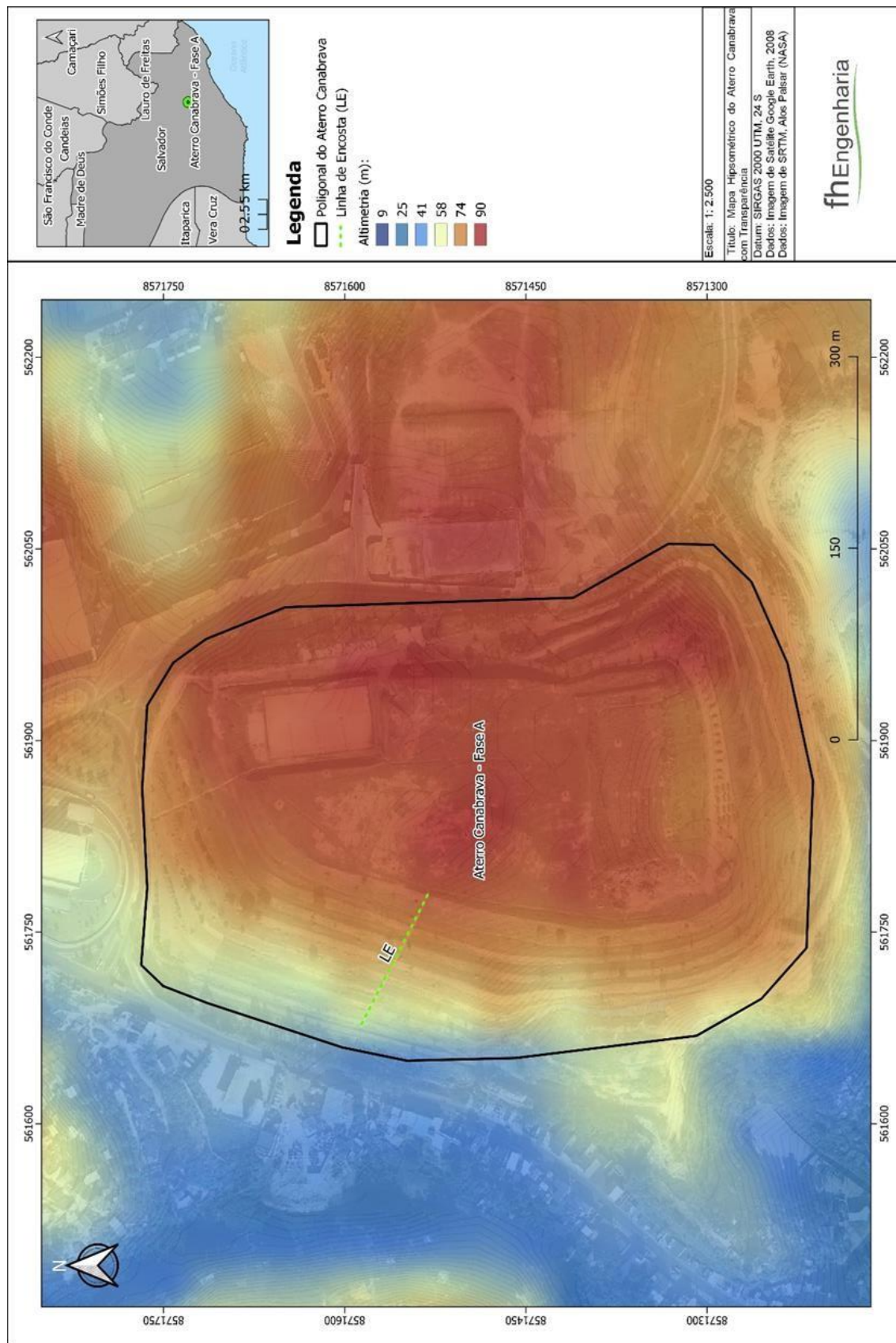


Figura 8.2: Hipsometria do Aterro Canabrava com Transparência

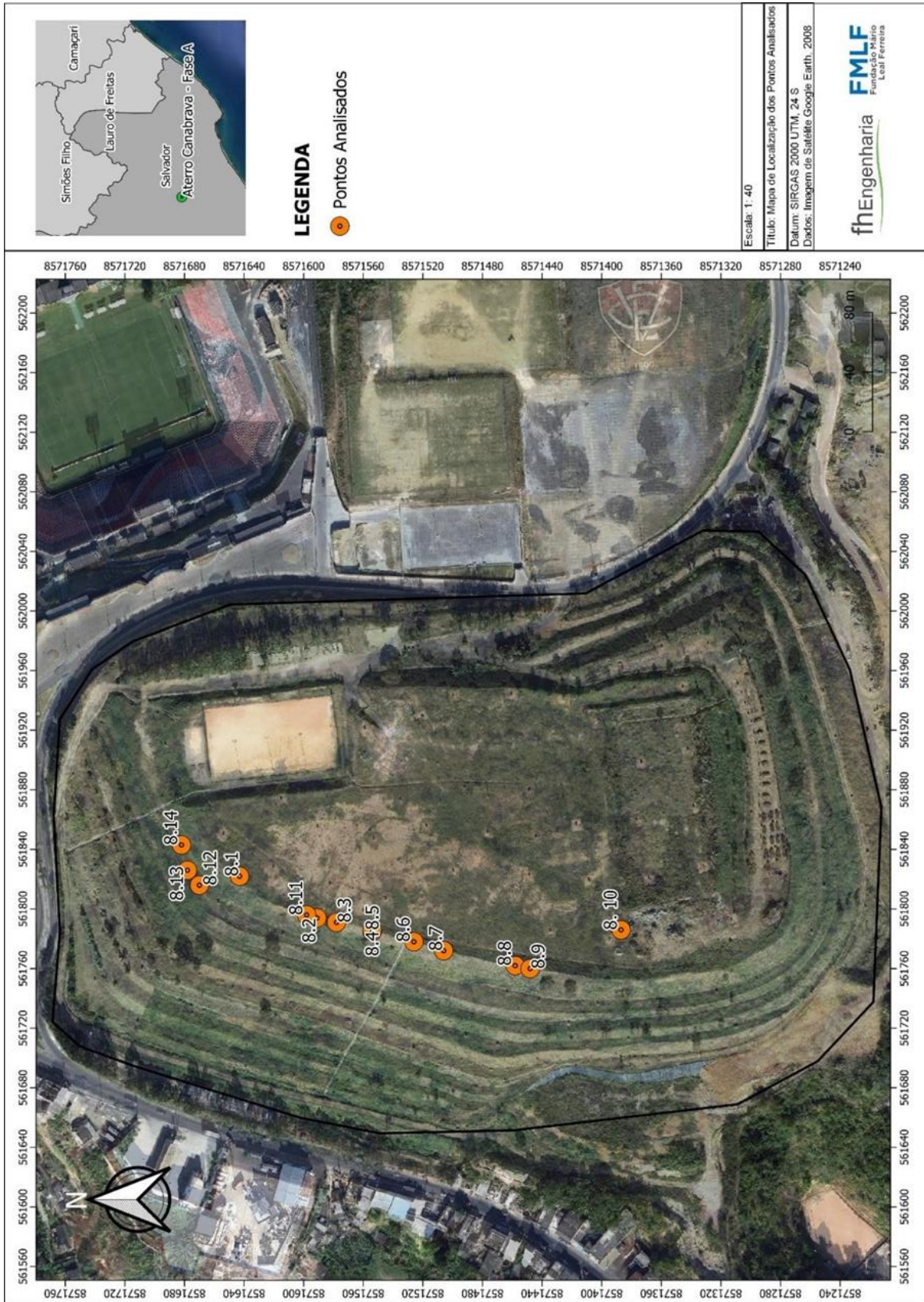


Figura 8.3: Pontos Analisados nos topos do talude



Foto 8.1 – Drenagem superficial



Foto 8.2 – Voçoroca provocada pela drenagem pluvial.



Foto 8.3 - Voçoroca



Foto 8.4 – Voçoroca provocada pela drenagem pluvial.



Foto 8.5 – Distância muro a topo de talude, vegetação de mamonas.



Foto 8.6 - Distância muro a topo de talude.



Foto 8.7 – Deslizamento de talude. Distância de muro ao topo de talude.



Foto 8.8 - Deslizamento de talude. Distância de muro ao topo de talude.



Foto 8.9 – Deslizamento do material de aterro do muro sobre o topo do talude.



Foto 8.10 – Muro lateral terreno a área não pavimentada do topo.



Foto 8.11 – Voçoroca provocada pela drenagem pluvial.



Foto 8.12 - Voçoroca provocada pela drenagem pluvial.



Foto 8.13 - Voçoroca provocada pela drenagem pluvial.



Foto 8.14 - Voçoroca provocada pela drenagem pluvial.

9. ESTABILIDADE DO MACIÇO E ENCOSTAS

Para a verificação dos fatores de segurança, foram usados os dados levantados em campo e topografia fornecido pela construtora, após o traçado da Linha de Encosta desenvolve-se o perfil da seção transversal conforme **Figura 9.1**.

Para determinar o fator médio de segurança e verificar a estabilidade de solos, pilhas e aterros foi utilizado o software MACSTARS® 2000. O programa permite conduzir as verificações de estabilidade usando o Método do Equilíbrio Limite assim foi determinado, após o processamento de dados do maciço e encosta, o fator médio de segurança na região mais crítica do aterro de **$FS_m = 1,982$** , conforme **Figura 9.2**.

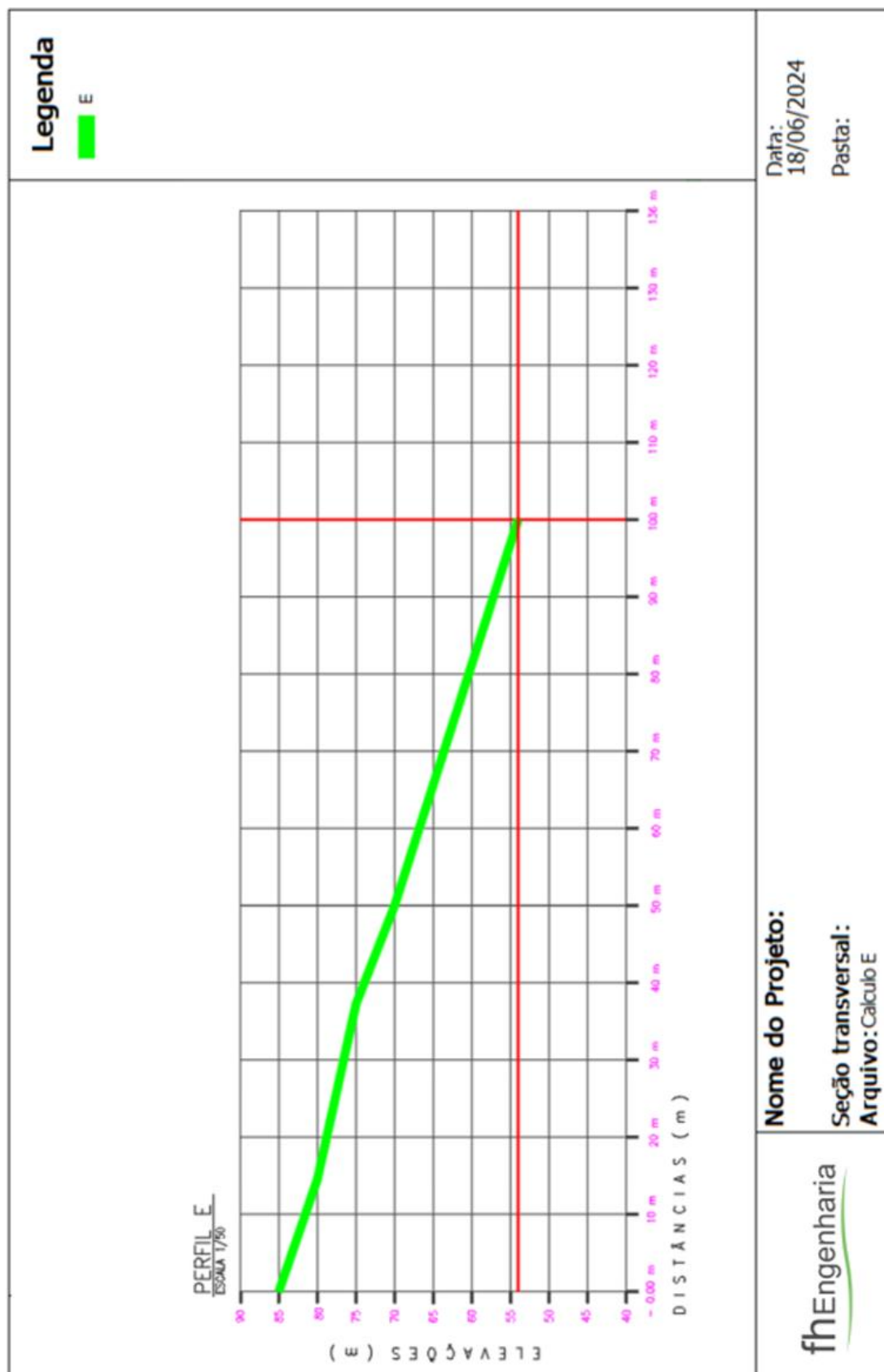


Figura 9.1: Sessão transversal da encosta do Aterro Canabrava.

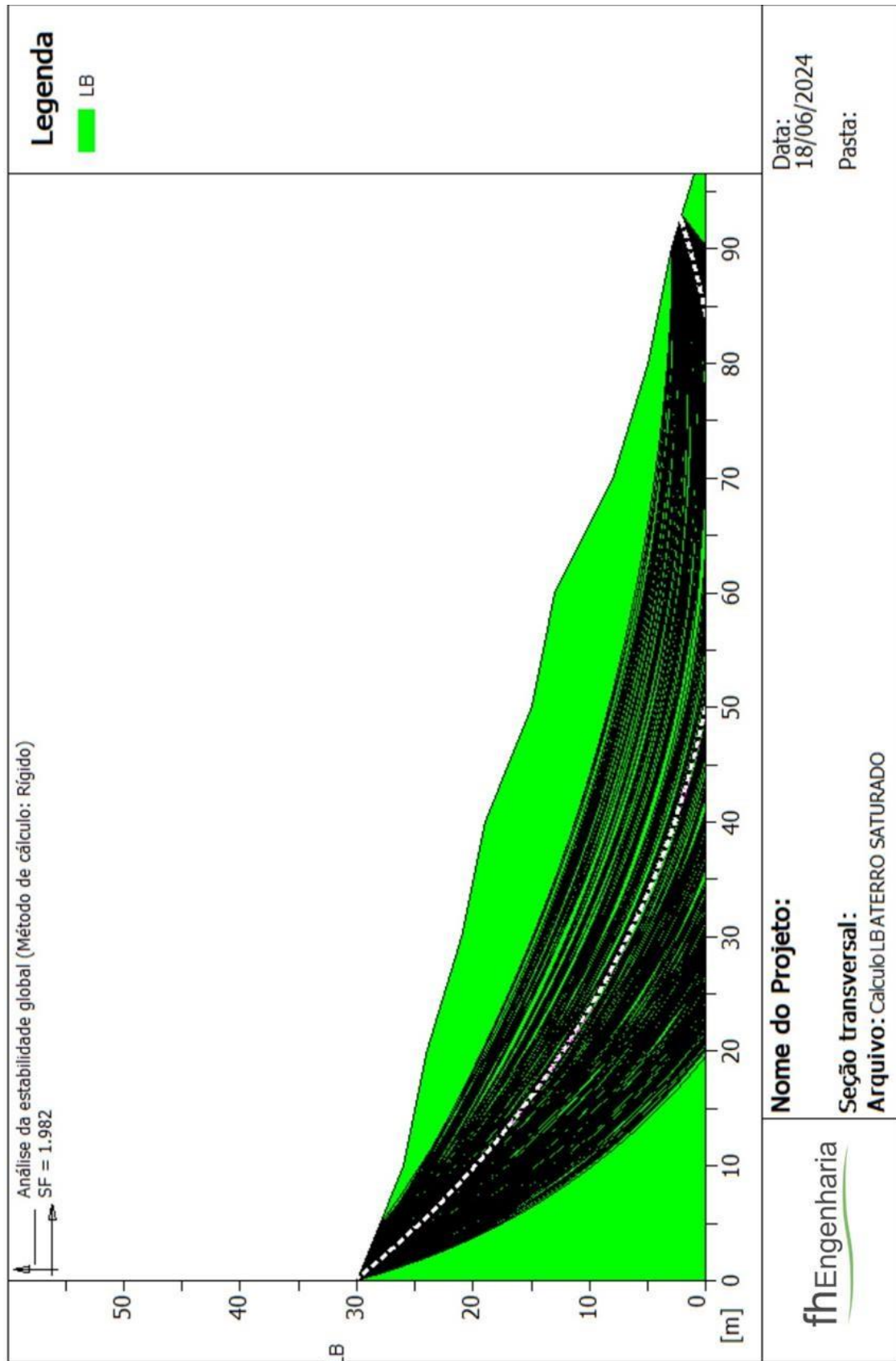


Figura 9.2: MACSTARS W – Copyright © Maccaferri 1998 – Release 4.0.

Neste trabalho foi utilizado como base a **Norma Técnica NBR 11.682/09** que trata sobre Estabilidade de Taludes em Solos. A mesma estabelece critérios e prevê níveis de segurança desejado contra perda de vidas humanas e contra danos materiais e ambientais devido a possíveis escorregamentos de maciços (ver **Quadros 9.1, 9.2 e 9.3**).

Quadro 9.1: Nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas.

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação, concentração e permanência de pessoas. Ferrovias e Rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e movimentação e permanência restritas de pessoas. Ferrovias e Rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e movimentação e permanência eventual de pessoas. Ferrovias e Rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: NBR 11.682/09.

Quadro 9.2: Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves (faixa de dutos, barragens de rejeito, fábricas de produtos tóxicos etc).
Médio	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
Baixo	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: NBR 11.682/09.

Quadro 9.3: Fatores de segurança mínimo para escorregamentos.

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vida humana		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: ABNT NBR 11682 (2009).

Para $FS < 1,00$: Talude instável. Caso o talude venha ser executado, sendo corte ou aterro, com esse valor deverá sofrer ruptura;

Para $FS > 1,00$: Condição estável. Quanto mais próximo de 1,00 for o fator de segurança, mais precária e frágil será a condição de estabilidade do talude;

Para $Fs \gg 1,00$: Condição estável. Quanto maior for o fator de segurança, menores serão as possibilidades de o talude vir a sofrer ruptura.

Com base nessas tabelas apresentadas observa-se que o nível de segurança desejado contra perdas de vidas humanas pode ser considerado alto por ser um aterro sanitário onde o seu topo irá virar um estacionamento, haverá uma intensa movimentação, concentração e permanência de pessoas. Em relação à segurança desejada contra danos materiais e ambientais o nível de segurança pode ser considerado médio por ser um local próximo de propriedades de valor reduzido e sujeito a acidentes ambientais medianos (longe de cursos de águas e área de proteção ambiental e proteção permanente). Ao entrar com esses critérios no quadro 3 resulta um fator de segurança mínimo para escorregamento do maciço de 1,50, que será o valor limite que os resultados do cálculo para a situação em que se encontram os taludes atualmente no aterro sanitário que está sendo estudado. Porém após visita em campo foi observado diversas voçorocas provocadas por drenagens pluviais provisórias e por falta de drenagem planejada; deslizamento de terra por conta da má acomodação e coesão do material de cobrimento do aterro; falta de cobertura vegetal e tombamento de algumas árvores nos taludes.

De acordo com o gráfico, é necessário o monitoramento geotécnico, que consiste na verificação da conformação dos resíduos nos taludes e bermas do aterro, e tem como objetivo principal verificar a eventual ocorrência de deslocamentos verticais e horizontais superficiais medidos através dos marcos topográficos. O monitoramento geotécnico busca acompanhar o recalque do aterro durante a operação para evitar potenciais acidentes. A **Figura 9.3** apresenta esquema da lógica das movimentações em perfil em relação aos marcos medidores de recalques superficiais, obedecendo o trabalho proposto às normas ambientais vigentes com destaque para NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico.

Os marcos superficiais são instalados na camada de cobertura final do aterro após a conclusão do mesmo, e têm o objetivo de medir os recalques e deformações horizontais. Os marcos podem ser confeccionados em formato piramidal, utilizando

concreto simples, e instalados firmemente na superfície do aterro. As leituras periódicas deverão ser feitas de maneira análoga às das placas de recalque. As placas de recalque são dispositivos que devem ser instalados na camada de resíduos, no talude, nas bermas e no topo do aterro, permitindo o monitoramento geotécnico, conforme **Foto 9.1**, é realizado com a medida da diferença de nível entre marcos do aterro por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos. Para a coleta dos dados em campo é necessário a utilização de equipamentos específicos e devidamente calibrados. As informações obtidas serão tratadas seguindo normas de instituições regulamentadoras.

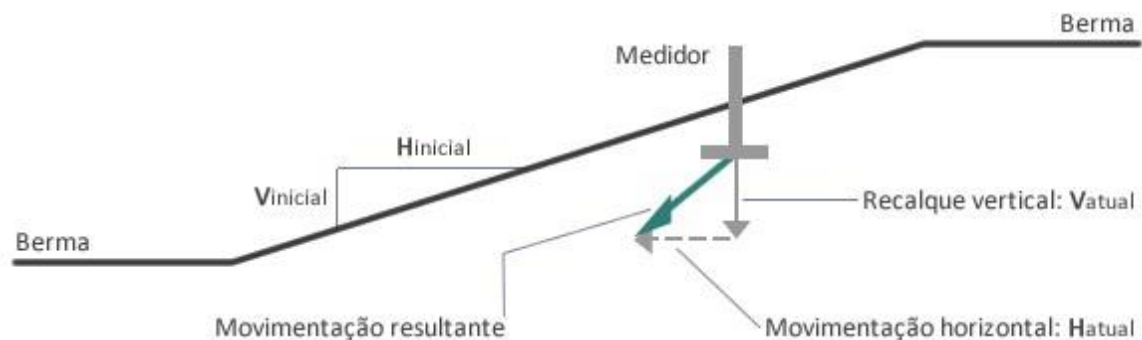


Figura 9.3 – Esquema das movimentações em perfil dos medidores de recalque superficiais.



Foto 9.1 – Medidor de recalque superficial instalado e identificado..

CAPÍTULO 3: ESTUDOS DE MANEJO E DESTINO FINAL DE CHORUME DO ANTIGO ATERRO CANABRAVA FASE A

1. CONTEXTO

O chorume é um líquido originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos. Esses processos, somados com a ação da água das chuvas, se encarregam de lixiviar compostos orgânicos presentes nos aterros de lixo urbano para o meio ambiente.

O chorume de um aterro se caracteriza por ser uma água residuária de natureza semelhante à do esgoto sanitário, a despeito do fato de alguns parâmetros estarem em concentrações superiores ao efluente doméstico, mas, em linhas gerais a composição é a mesma e por isso os processos de manejo e tratamento do chorume são similares aos do esgoto doméstico.

Ao longo dos últimos 30 anos a contar do encerramento da fase A do Aterro vem sendo verificado modificação na qualidade do chorume em função da ocorrência de processo de estabilização biológica natural e intrusão de água de chuva. Constatou-se uma estabilização parcial do chorume, mas que ainda demanda o manejo seguro desses líquidos percolados, uma questão fundamental para permitir ao Aterro Canabrava se manter em conformidade ambiental.

2. QUALIDADE E QUANTIDADE DOS LÍQUIDOS PERCOLADOS

A quantidade e qualidade dos líquidos percolados gerados nas operações de disposição final de resíduos sólidos urbanos, denominado chorume, dependem basicamente da quantidade de água que tem acesso ao aterro, estando relacionadas à pluviometria local e a cuidados com recobrimento, da idade do lixo aterrado e das técnicas de manejo do chorume.

Com o objetivo de obter dados consistentes para planejar o Sistema de manejo e Controle Ambiental para o chorume gerado no aterro Canabrava, foi feita uma abordagem para quantificação do chorume por modelamento e medições em campo e amostragem para análise de bancada e laboratório.

Quanto a caracterização físico-química e biológica foram conduzidas análises laboratoriais abrangendo:

- *Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Boro (B), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cromo Hexavalente, Estanho (Sn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Prata (Ag), Selênio (Se), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Potássio (K), Manganês (Mn), Sódio (Na), Vanádio (V), Berílio (Be), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo (P), Nitrato como N, Nitrito como N, NKT - Nitrogênio Kjeldahl Total, Nitrogênio Amoniacal, Amônia (como NH₃), Sulfeto, Cloreto, Sulfato, Fluoreto, Surfactantes, Óleos e Graxas, Alcalinidade devido a Carbonato, Alcalinidade devido a Hidróxido, Alcalinidade devido a Bicarbonato, Alcalinidade Total, DQO - Demanda Química de Oxigênio, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Fixos, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Voláteis, Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade, DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, Carbono Orgânico Total (TOC), Fenol Total, Cianeto Total e Cianeto Livre.*

2.1 Quantidade de Líquidos Percolados

A vazão de percolados em aterros depende de vários fatores, dentre eles: pluviometria local, grau de compactação das células de resíduos, tipo de resíduo, do material de cobertura etc. Normalmente, este percolado apresenta características poluentes a depender da idade do aterro, havendo a necessidade de ser drenado e manejado antes da disposição final no meio ambiente. Embora não disponha de manta impermeabilizadora de base o maciço do aterro de Canabrava é provido de rede drenos horizontais e verticais, que permitem a migração de líquidos e gases e o escoamento/extração de líquidos percolados.

2.1.1. Cálculo da vazão - Modelamento

A quantidade de chorume gerado é uma função da área de aterro com lixo exposta às chuvas infiltradas e da água segregada correspondente a umidade interior nas células de aterro. A pavimentação asfáltica prevista para um estacionamento no topo do aterro e a implantação proposta de um sistema de drenagem de águas pluviais para área restante não pavimentada promoverá a redução da área exposta e consequente redução da geração de chorume. Conforme Figura 2.1. é possível observar uma área pavimentada / compactada de 4,4 há correspondente

estacionamento e campo de futebol e áreas exposta de aterro de 11,54ha (115.400m²) referente a parte desnuda do topo do aterro e encosta.

No município de Salvador - Bahia, segundo a classificação Köppen e Geiger, o clima é classificado como Am (clima tropical úmido ou subúmido), inserido na zona tropical brasileira, tendo períodos com temperaturas médias no mês mais frio e na estação seca possuindo pouca duração. Apresenta precipitação médias climatológicas de valores calculados a partir de uma série de dados históricos de 30 anos do INMET, com meses de maior pluviosidade abril (298 mm) e Maio (299 mm). Enquanto que os meses de menor pluviosidade são: dezembro (76 mm) e janeiro (79 mm) (ver **Gráfico 3.1**). As médias apresentadas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos que configuram uma precipitação média anual de 1875mm.

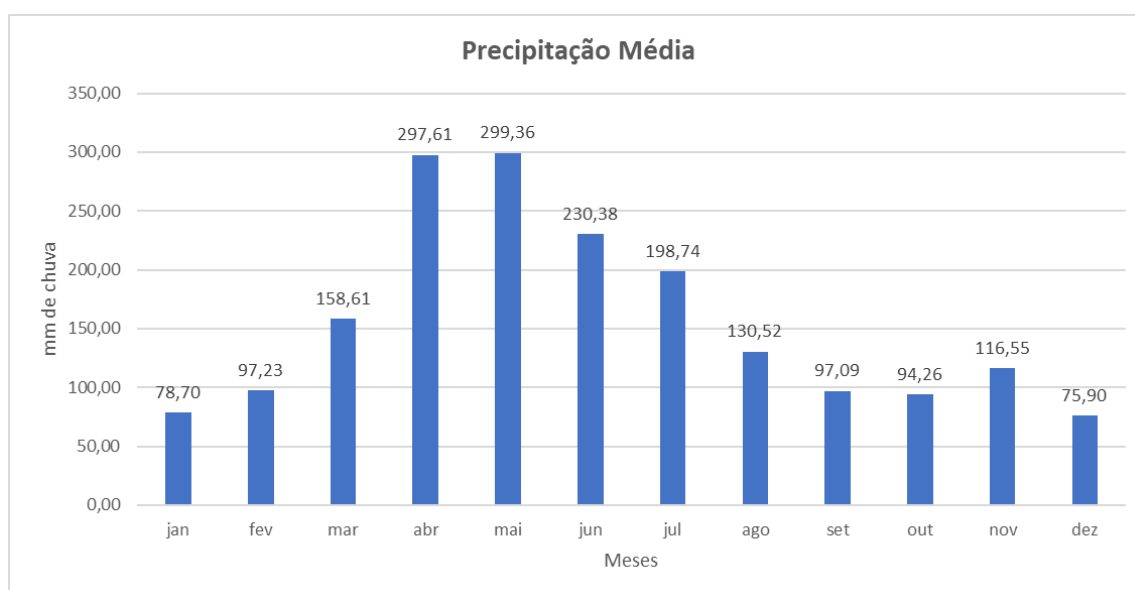


Gráfico 3.1: Precipitações médias para o município de Salvador.

Fonte: INMET – 2024.

A **geração de chorume** está principalmente relacionada a área exposta ocupada pelo aterro sanitário de Área exposta do aterro 115.400 m² e a precipitação local, existindo diversos métodos de modelagem (ex: Racional, Suíço e de Balanço Hídrico) úteis para estimar a produção dos líquidos percolados. Para avaliar e enquadrar as informações disponibilizadas pela Battre utilizou-se o Método Suíço, uma forma mais simplificada que não considera a evapotranspiração potencial (Orth,

1981; Capelo Neto et al. 1999), que estima o chorume gerado pela Equação 1, a seguir:

$$Q = (P.A.K)/t$$

Eq. 1

Onde,

Q = Vazão média do percolado em litros por segundo;

P = Precipitação média mensal (mm);

A = Área exposta do aterro (115.400 m²);

t = Número de segundos em 1 mês que é de 2.592.000 segundos;

K = Coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos sólidos urbanos

Valores de K para aplicação no Método Suíço.

Tipo de Aterro	Peso Específico do Lixo	K
Aterros Fracamente Compactados	0,4 a 0,7 ton/m ³	0,25 a 0,50
Aterros Fortemente Compactados	Acima de 0,7 ton/m ³	0,15 a 0,25

Fonte: (Orth, 1981, *apud* Neto et alii, 1999).

Para o cálculo da faixa de variação previsível para geração de chorume foi utilizado para o aterro controlado de Canabrava um fator de **0,25** situado em faixa intermediária de variação do K, considerando um aterro inicialmente pouco compactado, porém com adensamento ao longo dos 30 anos contados a partir do seu encerramento.

O **Quadro 2.1** apresenta vazões mensais de chorume estimadas ao longo do ano pelo Método Suíço, considerando uma área exposta de aterro de 11,54ha (115.400m²) e a precipitação pluviométrica mensal em Salvador, quando se prevê uma geração de até 287m³/d de chorume para o mês de maio, conforme série histórica de dados de 30 anos. Quadro 2.1: Cálculo de Vazões previsíveis de Chorume em Função da Precipitação Pluviométrica – **Área 11,54ha**

Meses	Precipitação média (mm)	Método Suíço (K = 0,25)		
		l/s	m ³ /h	m ³ /d

Janeiro	78,70	0,9	3,2	75,7
Fevereiro	97,23	1,1	3,9	93,5
Março	158,61	1,8	6,4	152,5
Abril	297,61	3,3	11,9	286,2
Maio	299,36	3,3	12,0	287,9
Junho	230,38	2,6	9,2	221,5
Julho	198,74	2,2	8,0	191,1
Agosto	130,52	1,5	5,2	125,5
Setembro	97,09	1,1	3,9	93,4
Meses	Precipitação média (mm)	Método Suíço (K = 0,25)		
		l/s	m³/h	m³/d
Outubro	94,26	1,0	3,8	90,6
Novembro	116,55	1,3	4,7	112,1
Dezembro	75,90	0,8	3,0	73,0
Média				150,25

Fonte: Precipitação média (mm) - INMET – 2024.

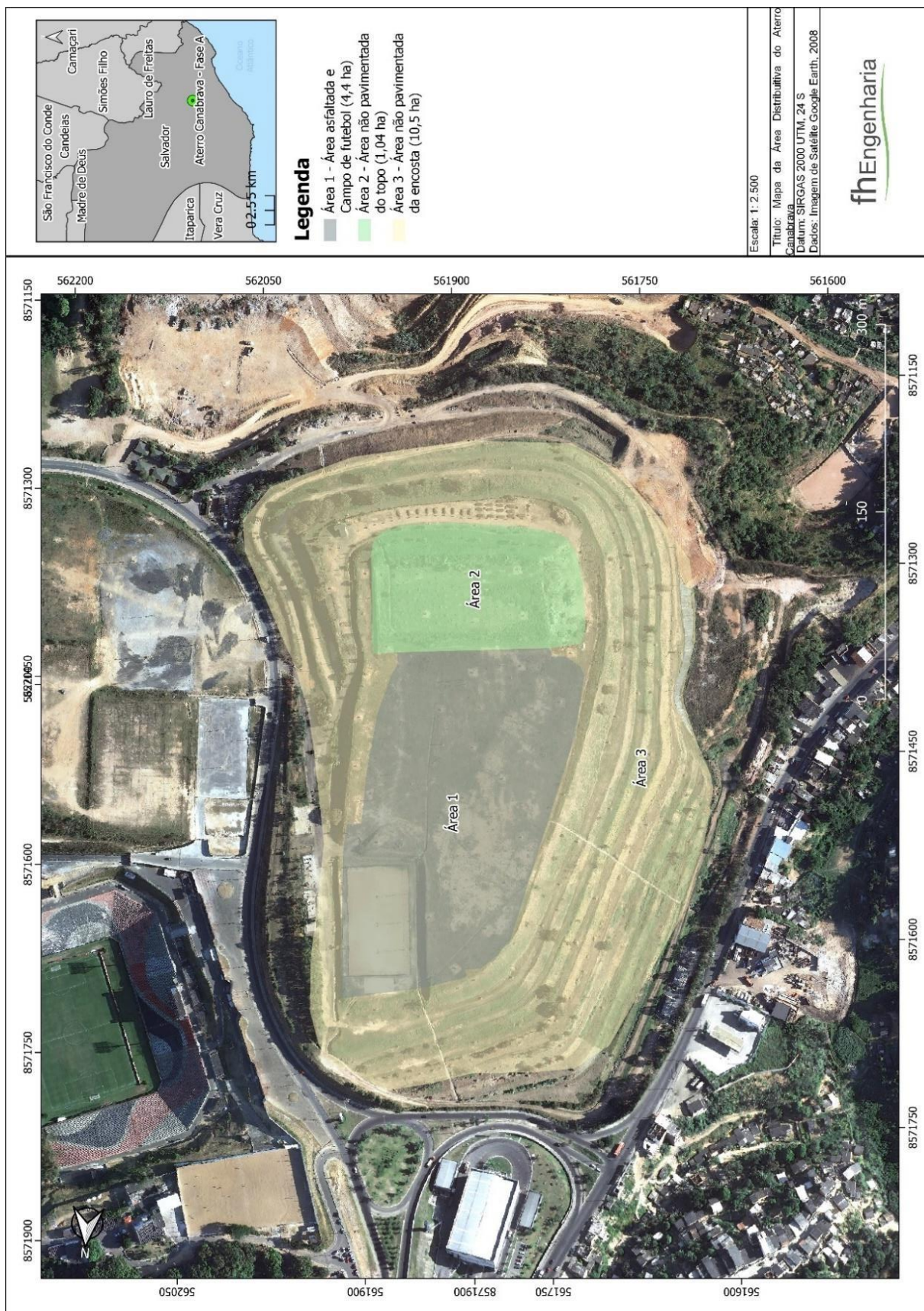


Figura 2.1 – Aterro de Canabrava – Áreas Pavimentadas e Desnudas.

2.1.2. Campanha de Medição de Vazão

A partir de informações obtidas e inspeções em campo identificou-se o ponto (Drenagem Rua) de convergência do lixiviados do aterro situado na área da antiga estação de condicionamento / tratamento de chorume, nas coordenadas Geográficas 24L/UTM 561657/8571610, Avenida Maria Lucia, em frente a loja do supermercado Atakarejo, Ver **Figura 2.1**, localização do ponto (Drenagem Rua). Neste mesmo ponto foi anteriormente tomadas amostras para caracterização do chorume.

Considerando a condição de conduto livre do ponto escolhido, final de uma tubulação livre de 200mm de PVC foi possível proceder cinco medições sequenciais de vazão precisas pelo método volumétrico, utilizando os seguintes dispositivos apresentados nas **Fotos 2.1 a 2.4**.



Foto 2.1



Foto 2.2



Foto 2.3



Foto 2.4

- Terminal de medição constituída por Te ventilador e curva longa de 150 mm, com dispositivo interno de ligação / vedação na tubulação de 200;
- Recipiente raso de coleta (caixa de massa) e Balde graduado de 11L;
- Cronômetro.

O **Quadro 2.2** apresenta os resultados de medição de vazão 23/05/24 em período chuvoso que já permanecia por cerca de 2 meses.

O Quadro 2.2: Resultados de medição de vazão - 23/05/24

Volume (L)	Tempo (s)	Vazão		
		L/s	m³/h	m³/d
10	4,89	2,04	7,36	176,7
9,5	4,74	2,00	7,22	173,2
9,5	4,56	2,08	7,50	180,0
9,0	4,43	2,03	7,31	175,5
9,0	4,32	2,08	7,50	180,0
Média:				177,1

Fonte: FH Engenharia Ltda, Método: Medição Volumétrica.

A vazão de chorume medido no ponto (Drenagem Rua) aterro Canabrava, alcançou uma contribuição média diária de **177,1m³/dia** (7,38m³/h), determinado em campanha pelo método volumétrico pela consultora especializada (ver **Quadro 2.2**).

A vazão média de chorume previsível de Chorume calculado pelo método Suíço para futura área exposta de 11,54ha e Precipitação Pluviométrica de abril, maio e junho foi de 265,2m³/d. Considerando que a atual área exposta é maior e alcança 15,94ha, pois ainda não conta com estacionamento asfaltado, a vazão previsível seria de 366,3m³/d. Deste total, boa parte do chorume é reunido no ponto (Drenagem Rua) onde existiu uma Estação de Manejo de Chorume. Deve ainda ser considerado que existe uma parcela de chorume que se infiltra através da base do aterro que não impermeabilizada e várias outras exsudações nas partes mais baixas das encostas do aterro.

Desta forma, considerando a vazão média de 177,1m³/d medida no mês de maio, estima-se que o ponto (Drenagem Rua) reúna cerca de 50% da vazão de chorume gerada na Fase A do aterro Canabrava, levando em conta a vazão média modelada para o período chuvoso – abril, maio e junho. A quantidade de chorume gerado é significativa e permite a utilização do mesmo em programa de fertirrigação a ser desenvolvido progressivamente, iniciando nos viveiros e horto previstos pela prefeitura na área do aterro e em seguida em outras áreas verdes próximas na medida em que se venha a controlar a erosão nas encostas do aterro Canabrava Fase A.

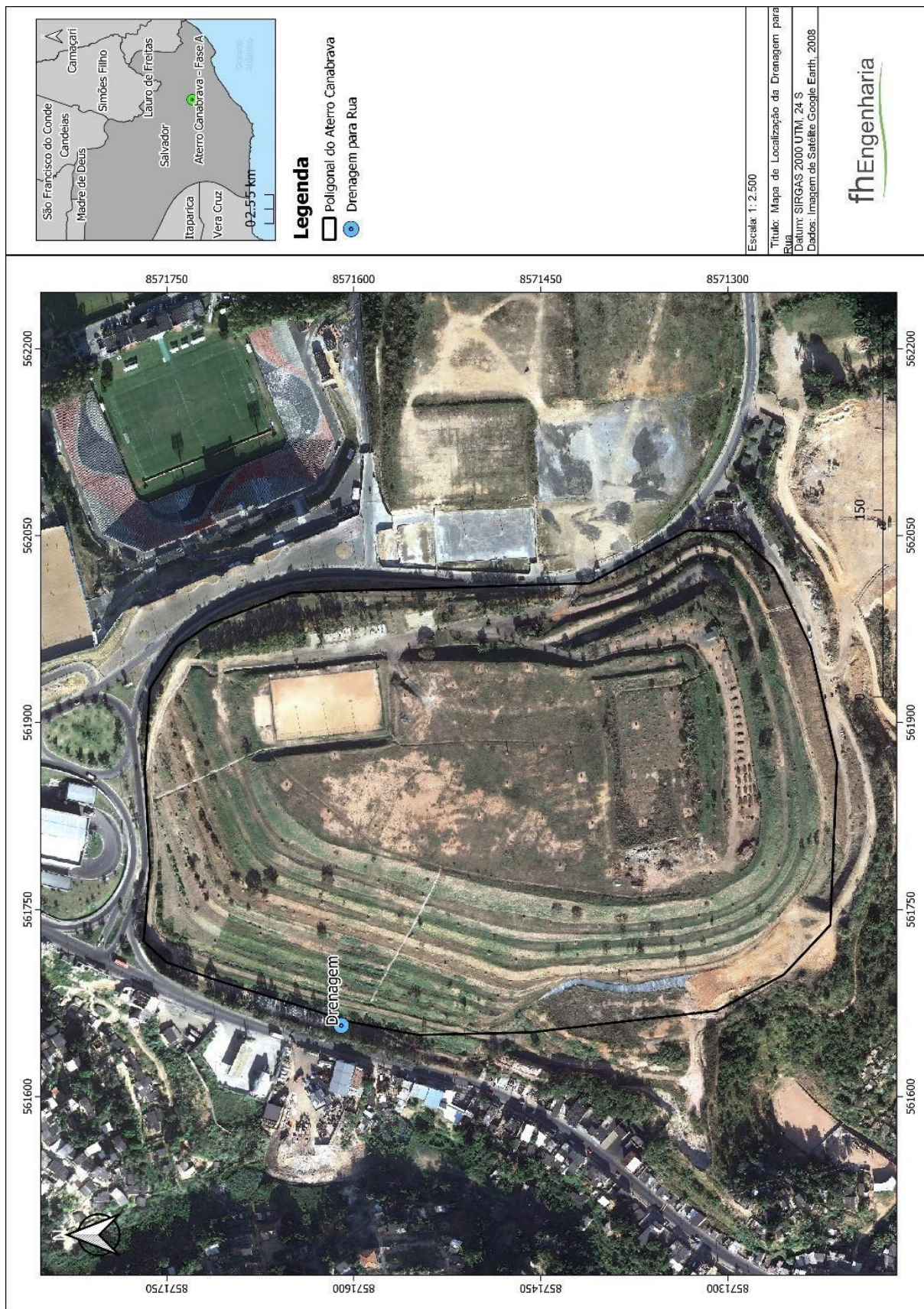


Figura 2.1 – Aterro de Canabrava – Drenagem chorume para Rua.

2.2 Qualidade do Chorume

A qualidade dos líquidos percolados gerados durante as operações de disposição final de resíduos sólidos urbanos e após o encerramento das mesmas, depende da idade do lixo aterrado, das técnicas de manejo do chorume e principalmente da quantidade de água que tem acesso ao aterro, fator relacionado a pluviometria local e a cuidados com recobrimento.

O maciço do antigo Aterro de Canabrava, correspondente a denominada Fase A, teve o recebimento de lixo encerrado a cerca de 30 anos. Ao longo deste último período a cobertura da área de topo do aterro, constituída por uma camada de solo argiloso arenoso vem sendo até agora ocupada parcialmente por um campo de futebol, estando em curso pavimentação asfáltica que juntos deverão ocupar 28% da superfície total (topo + encostas do aterro).

Com o objetivo de obter dados consistentes para planejar o Sistema de manejo, tratamento e controle Ambiental que irá processar o chorume gerado no aterro, foi feita uma caracterização do chorume. Tomou-se como base três amostras representativas do chorume gerado para análises em laboratório certificado de DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO - Demanda Química de Oxigênio, Carbono Orgânico Total (COT), Fósforo (P), Alcalinidade devido a Carbonato e Nitrogênio Amoniacal.

Comparado com as características e dados da composição do chorume para *aterros em operação na Bahia*, o *antigo de Canabrava* e ainda *esgoto sanitário típico*, foi composto o **Quadro 2.3**, para servir de base para definir uma estratégia de manejo e tratamento.

Quadro 2.3: Características de Chorume em Aterros em operação, Aterro Canabrava e de Esgoto Sanitário

Chorume Bruto Típico	Und	Faixa de Resultados		
		Chorume Aterros Operação ⁽¹⁾	Esgoto sanitário Típico ⁽²⁾	Chorume aterro canabrava ⁽³⁾
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	2916 a 5100	100 a 400	16 a 30
DQO - Demanda Química de Oxigênio	mg/L	7653 - 8000	200 a 800	65 a 87
Relação DQO/DBO	mg/L	1,60 a 2,60	2,0	2,8 a 4,2
Fósforo (P)	mg/L	14 - 22	5 a 20	0,03 a 0,1
Alcalinidade devido a Carbonato	mg/L	3600 a 10800	-	< 6,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	870 a 2480	10 a 50	70 a 174
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	293 - 650	200 a 250	32

(1) Faixa de variação determinada em aterros em operação Salvador, Camaçari e Santo Antônio de Jesus que geram chorumes novos ainda não estabilizados;

(2) Esgoto Sanitário no Brasil, Faixa de variação do Livro tratamento de Esgoto Domésticos Eduardo Pacheco Jordão, 6ª Edição de 2011 – ABES;

(3) Característica do Chorume Velho da Fase A do Aterro Canabrava Encerrados há 30 anos.

Conforme já apresentado anteriormente no 1º Relatório da consultora especializada em maio de 2024, referência de uso técnico consagrado, Canabrava Fase A é tipicamente um aterro antigo que gera atualmente um chorume maturado para o qual serão discutidas estratégias de manejo e disposição final.

Quadro 2.4: Dados típicos da composição do chorume para aterros novos e antigos (TCHOBANOGLIOUS 1993).

PARÂMETROS	Novos Aterros (<2 anos)		Aterros Antigos
	Faixa de variação (mg/l)	Típico (mg/l)	(> 10 anos) (mg/l)
DBO5	2000-30000	10000	100-200
COT	1500-20000	6000	80-160
DQO	3000-60000	18000	100-500
SSt	200-2000	500	100-400
TKN	10-800	200	80-120
N anoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo Total	4-100	30	5-10
Alcalinidade (CaCO3)	1000-10000	3000	200-1000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5

Os resultados analíticos no **Quadro 2.5** das três amostras representativas obtidas pela consultora especializada e os valores de literatura adotados na caracterização e enquadramento do chorume atual da Fase A do Aterro Canabrava mostram que a composição do chorume é similar à do esgoto doméstico tratado, ambos efluentes ainda biodegradáveis. Todos os parâmetros apresentam concentrações típicas menores do que as apresentadas no efluente doméstico, com exceção do Nitrogênio Amoniacal. No caso específico do chorume é importante, destacar os seguintes pontos:

- As concentrações de carga orgânica determinadas pela **DBO** = (16 a 30 mg/l) e pela **DQO** = (65 a 87 mg/l) obtidas a partir de amostragem representativa no Aterro Canabrava confirmam que se trata de um *chorume antigo*, líquido estabilizado e maturado com baixa carga orgânica. Comparado com esgoto sanitário típico o Chorume aterro Canabrava equivaleria a um efluente tratado com eficiência de 90%. A Resolução Conama 430/09 que *dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes determina um limite mínimo de remoção de DBO de 60% ou 120mgDBO/L no efluente tratado. O chorume maturado atual (16 a 30 mgDBO/l) atende com folga esse critério, não demanda remoção adicional de DBO e poderia por tanto ser utilizado na fertirrigação de áreas verdes.*
- A relação média de DQO / DBO de 2,8 a 4,2, obtida no monitoramento, indica que o chorume é um efluente biodegradável apropriado para fertirrigação em áreas verdes. Os resultados de **TCO – Taxas de Consumo de Oxigênio** (endógena e exógena) realizados em 03 de Abril de 2024 confirmam a biodegradabilidade do efluente Canabrava conforme **Quadros 2.5 e 2.6** abaixo.

Quadro 2.5 - T.C.O - Endógena - 03 de Abril (Água Destilada)

Tempo (minutos)	TCO -gO ₂ /L.min)		
	Teste 01	Teste 02	Teste 03
0	6,37	7,50	7,49
1	5,48	5,47	5,28
2	5,34	5,32	5,18
3	5,20	5,15	5,03
4	5,05	5,02	4,89
5	4,92	4,87	4,75
6	4,79	4,73	4,60
TCO (mg/L.min) Coef. Angular	0,1380	0,1480	0,1360

Quadro 2.6 - T.C.O - Exógena - 03 de Abril (Efluente Aterro Canabrava)

Tempo (minutos)	TCO – (mgO ₂ /L.min)		
	Teste 01	Teste 02	Teste 03
0	7,45	7,55	7,49
1	6,26	6,12	6,14
2	6,10	5,94	5,97
3	5,94	5,81	5,80
4	5,78	5,66	5,64
5	5,62	5,50	5,47
6	5,47	5,35	5,30
TCO (mg/L.min) Coef. Angular	0,1580	0,1540	0,1680

- Quanto as concentrações de nutrientes no chorume o **Nitrogênio Amoniacal** encontra-se presente a uma concentração média de 70 a 174mg/l, considerada elevada, com risco de toxicidade e eutroficação em corpos hídricos riachos/ córregos da região circunvizinha. Considerando ser interessante afastar o fator toxicidade, pode-se considerar remoção de 80% a 90% no chorume através de dessorção (stripping) para atingir de 20 mg/l a 30mg/l em atendimento à legislação ambiental. De forma alternativa e melhor em termos ambientais deve ser considerada a utilização do chorume atual de fertirrigação em áreas verdes.

- A temperatura ambiente em faixa média de 25 °C a 32°C e o pH do chorume maturado em faixa neutra (7 a 8) indicam que não haverá dificuldade para disposição final controlada;
- Os **sólidos** através das determinações de matéria em suspensão sólida, mostra concentração média de sólidos suspensos totais em torno de 32mg/L. O Valor médio de SS no esgoto sanitário é de 215mg/L. A Resolução CONAMA Nº 430 estabelece para Sólidos em Suspensão totais eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.
- Os teores de **metais pesados**, determinados nas amostras coletadas, confirmam que o efluente é biologicamente degradável e não oferece risco de bioacumulação, e que os padrões de lançamento serão atendidos.

3. ALTERNATIVAS DE MANEJO E TRATAMENTO

Considera-se para o chorume a alternativa de trata-lo para que equivalha a um esgoto sanitário tratado ou considerar a utilização de chorume em fertirrigação em área verde aproveitando os nutrientes presentes.

Como opção de **tratamento** o chorume do aterro Canabrava seria pré-tratado em uma *Câmara de Sedimentação* para remoção de areia e silte em seguida seria conduzido para tratamento num **tanque de dessorção de amônia** onde seria adicionado um alcalinizante para elevação do pH para faixa de 8,5 a 9,0 para promover a remoção de amônia em tanque de aeração / dessorção. Será considerada, a favor da segurança e considerando ser interessante afastar o fator toxicidade, pode-se considerar remoção de 80% a 90% no chorume através de dessorção (stripping) para atingir de 20 mg/l a 30mg/l.

De forma alternativa e melhor em termos ambientais deve ser considerada a **utilização do chorume atual de fertirrigação** em áreas verdes, já que o mesmo tem nitrogênio e fosforo na sua composição.

4. TRATAMENTO DO CHORUME

A metodologia utilizada na realização dos ensaios físico-químicos iniciais foi a técnica de remoção de amônia pela elevação do pH e arraste com ar, conhecida como “ammonia Stripping”. Essa técnica consiste na agitação e consequente exposição da mistura entre o gás e a água ao ar, na qual o nitrogênio amoniacal está na forma ionizada até quando o pH for 7,0 e predominantemente na forma de gás amônia quando o pH estiver na faixa de 8,5 a 9,0. Estando o chorume normalmente entre 7,5 e 8,0 a dessorção da amônia viabiliza-se em tempos de residência maiores que 12 h.

Os resultados analíticos antes e depois de ensaio de Stripping realizados em bancada pela Contratada com a amostra representativa do chorume do aterro da Limpec em Camaçari indicados no **Quadro 4.1** demonstram nos ensaios ser viável alcançar eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal maiores que 80% (de 82,4% a 85,9 % Nitrogênio total Kjeldahl após 12 horas de aeração). Não ocorreram nos ensaios mudanças significativas na Carga orgânica, com apenas 5,06 % de remoção de DBO e 2,86 % de DQO.

Quadro 4.1 - Ensaio do Processo de Stripping -LIMPEC, Camaçari.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos		% de remoção
		antes Stripping	após Stripping	
pH	-	8,67	9,0	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1660	277	85,86
Nitrogênio total Kjeldahl	mg/L	2140	376	82,42
DBO	mg/L	316	300	5,06
DQO	mg/L	3590	3490	2,86

A aplicação de dessorção ou stripping de amônia simplificada é viável para o caso do chorume do aterro CANABRAVA, pois é facilitada pelo pH normalmente acima de 7 e condições ambientais favoráveis com temperaturas médias estáveis próximas a 25°C (chorume de 26,7 a 34,2°C). A pequena contribuição de chorume possibilita a adoção de período de residência longo suficiente para promover a efetiva remoção da amônia e assim gerar um efluente adequado para disposição em corpo hídrico.

Não cabe no caso a alternativa de Torres especiais de Stripping para remoção de amônia a nível mais elevado, aplicáveis na área de indústrias que contribuem para a formação de nitrogênio na forma amoniacal em seus efluentes, a exemplo da indústria sucroalcooleira (elevada concentração de amônia na vinhaça) indústria química, petroquímica e usinas siderúrgicas não são aplicáveis ao chorume pelo seu alto custo e exigência de controle de operação sofisticado. Preconiza-se a implantação de um tanque de arejamento com longo tempo de permanência para dessorção prévia de amônia antes das unidades de tratamento biológico.

O tanque de Dessorção de Amônia e acondicionamento será equipado com equipamento de aeração superficial que promoverá a mistura e aeração dos efluentes por aspersão para garantir a dessorção do nitrogênio amoniacal.

O tanque de arejamento para dessorção de amônia foi dimensionado para abrigar o equipamento de menor potência disponível permitirá um período médio de residência de aproximadamente 15 h com as seguintes dimensões úteis:

Largura útil: 9,0 m (atende o diâmetro do véu de aeração de 3,0 m);

Comprimento: 9,0 m;

Profundidade útil: 2,2 m (máx. 2,3 m);

Bordo livre: 0,40 m;

Volume útil: 178,2 m³ (para h = 2,2 m); Área útil: 81,0 m².

Forma: quadrangular com cantos suaves

Considerando uma introdução de energia maior de 50 W/m³ seriam instalados 2 aerador superficiais com motores submersos, sendo recomendado aerador flutuante de superfície de 7,5 CV (5,6 kW) modelo HA 7,5A da Helibombas ou equipamento de mesma composição e qualidade equivalentes. Para resultados eficientes de dessorção o aerador precisa necessariamente promover jatos para cima no ar e “splash” na superfície d’água, não sendo aplicáveis equipamentos de outro tipo de montagem.

Para cumprir estas funções o tanque dessorção de amônia contará com os seguintes recursos e dispositivos:

- **Desarenador/ Caixa de Areia** para Remoção de Sólidos Grosseiros o efluente oriundo do aterro será recebido em desarenador para remoção de partículas de areia e silte, objetivando evitar a acumulação de materiais sólidos não biodegradáveis capazes de formar depósitos no tanque Dessorção de Amônia.
- **Dessorção de Amônia** – o próprio longo período de residência e a renovação de superfície realizada pela mistura promovida pela aeração por aerador de superfície com potência a ser definida, provavelmente em torno de 15CV, garantirá a efetiva dessorção dos compostos nitrogenados.
- **Controle do pH** – o controle do pH na faixa de 8,5 a 9,0 será realizado por dosagem NaOH antes do sistema biológico de tratamento. O pH deve sempre estar nessa faixa para favorecer amonificação dos compostos nitrogenados e a dessorção da amônia.

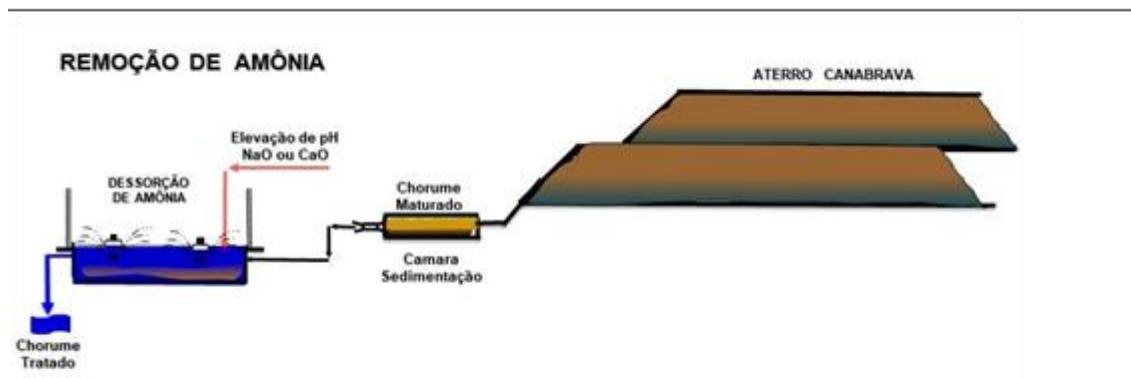


Figura 4.1 – Remoção de Amônia

5. UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DO CHORUME

A vazão de chorume atual é significativa e permite a utilização do mesmo em programa de fertirrigação a ser desenvolvido progressivamente, iniciando nos viveiros e horto previstos pela prefeitura na área do aterro e em seguida em outras áreas verdes próximas, na medida em que se venha a controlar a erosão nas encostas do aterro Canabrava Fase A.

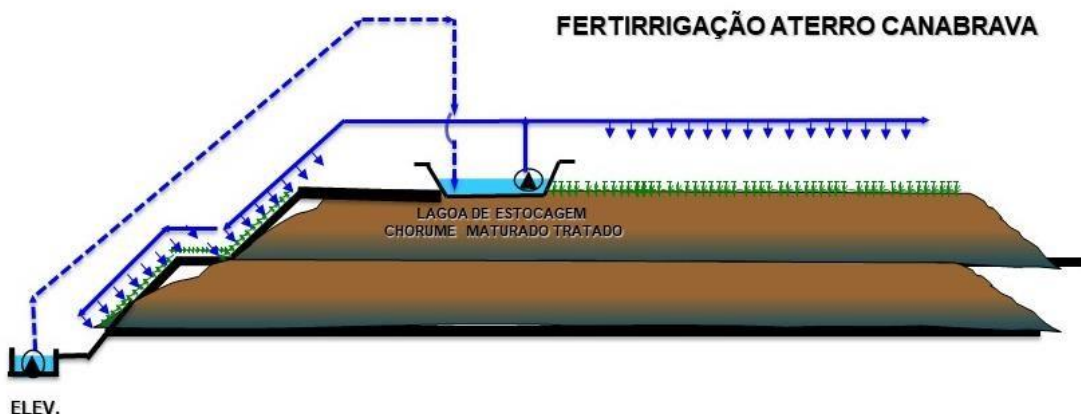


Figura 5.1 – Utilização Agrícola

5.1 Diretrizes e Padrões para o Reuso

O efluente sanitário (chorume) do Aterro Canabrava apresenta qualidade adequada para a reutilização em áreas verdes de acordo com a **Resolução CONERH nº 75 de 29 de Julho de 2010**, do estado da Bahia que estabelece os procedimentos para disciplinar a prática de reuso direto de efluentes (águas não potável) na modalidade agrícola e/ou florestal. Em síntese a resolução estabelece níveis desejáveis ou limites de salinidade no efluente a ser reutilizado para irrigação e controle sanitário.

A salinidade ou quantidade de sais dissolvidos no chorume avaliado através da determinação da Condutividade e dos Sólidos Dissolvidos Totais-SDT, estabelecendo então, um plano de irrigação ambientalmente adequado. Em termos de teor salino o efluente Canabrava, apresenta características de “água salobra” de 2093 μ S/cm utilizáveis para irrigação, conforme a Resolução CONAMA 357/2005.

Os limites de valores das características microbiológicas, físicas e químicas recomendadas pela **Resolução CONERH nº 75 de 29 de Julho de 2010** para a reutilização desse efluente, segundo a normatização supracitada estão apresentados no **Quadro 5.1**. Destaca-se abaixo trecho do Artigo 4º com os níveis/limites de condutividade elétrica adequadas para reuso par fins agrícolas e/ou florestais.

Quadro 5.1: Características para reuso do efluente

2406-MGD_Relatório Final_P06-R00.docx

RAS	Condutividade Elétrica dSm ⁻¹	
	Mínima	Máxima
0 – 3	0,2	3,0
3 – 6	0,3	
6 – 12	0,5	
12 – 20	1,3	
20 – 40	2,9	
RAS: razão de adsorção de sódio		
Formula utilizada para o cálculo da Razão de adsorção Sódio (RAS): Sódio (Na)= 228mg/l, Cálcio (Ca) =219 mg/l e Magnésio (Mg) =78 mg/l	Razão de Adsorção Sódio $RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$	
Calculando o valor do RAS temos: 18,70		

Algumas diretrizes internacionais definem de forma específica a qualidade desejável da água reciclável, a exemplo do **Quadro 5.2 – Classes de Salinidade para Águas de Irrigação**, da EPA Australiana, pois a irrigação com águas de teor salino excessivo pode acarretar problemas de salinidade e sodicidade, podendo causar efeitos sobre solos e plantas. A caracterização do chorume do Aterro Canabrava apresenta atualmente (2024) uma condutividade de **2093µS/cm**, o que segundo essa Norma, apresenta características de alta Salinidade, mas ainda adequada para irrigação de graminhas e vegetação arbustiva / arbórea selecionada.

Quadro 5.2 – Classes de salinidade para Águas de Irrigação

Classe	Descrição	S. (‰)	CE (µS/cm)	Utilização
I	Baixa Salinidade	0 – 0,175	0 – 270	Pode ser utilizada pela maioria das plantações, exceto em solos de baixa permeabilidade.
II	Média Salinidade	0,175 – 0,5	270 – 780	
III	Alta Salinidade	0,5 – 1,5	780 – 2340	Pode ser utilizada com gerenciamento o controle da salinidade e definição da vegetação. Para águas no limite superior desse grupo, deve-se considerar restrições para áreas mal drenadas.

IV	Muito Alta Salinidade	1,5 – 3,5	2340 – 5470	Pode ser utilizada desde que os solos sejam ser permeáveis e com drenagem adequada. A vegetação deve ser tolerante.
V	Extremamente Alta	>3,5	>5470	Não apropriada para irrigação, exceto em solo de alta permeabilidade e muito boa drenagem, sob acompanhamento rigoroso e vegetação com alta tolerância aos sais ou, ocasionalmente, em caso de emergência.

Fonte: EPA Australiana

Algumas precauções devem ser tomadas, como a correta escolha de equipamento de irrigação, desenvolvimento de sinalização disseminada indicando o tipo de água que está sendo utilizada.

O **Quadro 5.3** alinha concentrações de substâncias com limites estabelecidos na Resolução CONERH nº 75 (Artigo 4º), e as concentrações determinadas no efluente sanitário do Aterro Canabrava e demonstra que os objetivos básicos de tratamento prévio dos efluentes a serem usados em irrigação em áreas irrigadas serão atendidos:

- Proteção da saúde dos trabalhadores irrigantes
- Controle de vetores de doenças durante o armazenamento do efluente tratado a reciclar;
- Controle de potenciais danos aos cultivos e solos irrigados.

O **Quadro 5.3** apresenta as possibilidades de utilização de efluentes do Aterro Canabrava e os controles necessários de forma matricial, segundo diretrizes da legislação Australiana. Destacou-se com tarja os usos plausíveis no caso em questão. Como pode ser observados todos os parâmetros analisados apresentaram seus valores abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONERH nº 75/2010, que estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal. Apresentou-se também seus valores abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução Conama 430/09 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Quadro 5.3 – Substâncias legisladas/concentrações efluente Aterro Sanitário Canabrava– Abril 2024

Parâmetro	Und	Resultado Efluente / Chorume Drenagem p/ Rua	Resolução	
			CONERH N° 75/10	Conama n°430/11
			Limite Máximo	
Metais				
Alumínio (Al)	mg/L	0,104	5	-
Arsênio (As)	mg/L	0,00118	0,1	0,5
Bário (Ba)	mg/L	0,381	-	5
Boro (B)	mg/L	0,932	0,5	5
Cádmio (Cd)	mg/L	< 0,00050	0,01	0,2
Chumbo (Pb)	mg/L	< 0,0050	5	0,5
Cromo (Cr)	mg/L	< 0,0050	0,1	-
Estanho (Sn)	mg/L	< 0,0050	-	4
Mercúrio (Hg)	mg/L	< 0,000050	0,002	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	< 0,0050	0,2	2
Prata (Ag)	mg/L	< 0,00250	-	0,1
Selênio (Se)	mg/L	0,00134	0,02	0,3
Zinco (Zn)	mg/L	0,0131	2	5
Cobalto (Co)	mg/L	0,00503	0,05	-
Cobre (Cu)	mg/L	0,00668	0,2	-
Ferro (Fe)	mg/L	2,2	5	-
Potássio (K)	mg/L	178	-	-
Manganês (Mn)	mg/L	1,8	0,2	-
Sódio (Na)	mg/L	228	70	-
Vanádio (V)	mg/L	< 0,00500	0,1	-
Berílio (Be)	mg/L	< 0,00200	0,1	-
Cálcio (Ca)	mg/L	219	-	-
Magnésio (Mg)	mg/L	78	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0,0315	-	-
Compostos Nitrogenados				
Nitrato como N	mg/L	10,35	-	-
Nitrito como N	mg/L	9,66	-	-
NKT - Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L	85,88	-	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	70	-	20
Amônia (como NH3)	mg/L	85	-	-
Compostos Inorgânicos				
Sulfeto	mg/L	0,03	-	1,0
Cloreto	mg/L	232,39	350	-

Sulfato	mg/L	< 10,00	-	-
Fluoreto	mg/L	0,49	1	10
Compostos Orgânicos				
Surfactantes	mg/L	< 1,00	-	-
Parâmetro Físico-Químico				
Óleos e Graxas Mineral	mg/L	< 5	-	20
Alcalinidade devido a Carbonato	mg/L	< 6,00	-	-
Alcalinidade devido a Hidróxido	mg/L	< 6,00	-	-
Alcalinidade devido a Bicarbonato	mg/L	1320	-	-
Alcalinidade Total	mgCaCO3/L	1320	-	-
DQO - Demanda Química de Oxigênio	mg/L	78	-	-
Parâmetros Físicos				
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	< 0,10	-	< 1,0
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	< 10,00	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	32	-	-
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	30	-	-
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	1410	-	-
Parâmetros Biológicos				
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	mgO2/L	28,31	-	120 ou 60% de remoção
Carbono Orgânico Total (TOC)	mg/L	< 40	-	-
Compostos Aromáticos				
Fenol Total	mg/L	< 0,0020	-	0,2
Íons				
Cianeto Total	mg/L	< 0,0010	-	1,0
Cianeto Livre	mg/L	0,0051	-	-
Cromo Hexavalente	mg/L	< 0,010	-	0,1

Nota: Ver Laudos laboratoriais no Anexo III.

5.2 Solo

O material de cobertura utilizado na Fase A do aterro de Canabrava – topo e encostas- corresponde solo um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) com textura argilosa. A textura e os dados médios físicos do solo foram estimados a partir de

tabelas de pedologia compatíveis e dados típicos de permeabilidade e estão ordenados nos Quadros 5.4, 5.5 e 5.6.

Quadro 5.4 – Valores típicos do coeficiente de permeabilidade

Permeabilidade		Tipo de solo	k (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	Siltes e argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Quadro 5.5 – Tipo e textura do solo.

Profundidade (cm)	Classificação Textural
0 - 30	Argilo arenosa
30 - 60	Argilo arenosa
Classificação	Podzólico Vermelho Amarelo

Quadro 5.6 – Dados físico-hídricos

Profundidade (cm)	Cond. Hidráulica. (mm x h ⁻¹)	dap (g x cm ⁻³)	Umidade (%)		Água Disp. (%)
			(1/10 atm)	(15 atm)	
0 - 30	2,4	1,62	10,6	5,23	5,37
30 - 60	1,3	1,68	9,8	4,3	5,5

O CRA - Capacidade Real de Água no solo representa o valor consumido pela planta e que é necessário para ser irrigado para a manutenção da cultura, sendo estimado para a manutenção da área verde do Aterro Canabrava com capim e gramíneas na faixa de 2,5 a 3,0 mm/m comum na RMS e Recôncavo, com correspondentes vazões necessárias para irrigação da área de topo e encostas do Aterro Canabrava Fase A:

$$\text{Vazão por ha} = 0,0025 \text{ a } 0,0030 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Vazão} = 25,0 \text{ a } 30,0 \text{ m}^3/\text{ha.d}$$

5.3 Demanda de Irrigação

O conhecimento sobre o cultivo permitirá estabelecer para os locais parâmetros fisiológicos específicos na medida em que a utilização prevista no horto e nas encostas do Aterro Fase A se estabeleçam. No caso da área em questão, será progressivamente irrigada uma área verde atualmente com cobertura de gramínea nas encostas e no horto além de gramíneas também vegetação arbustiva e arbórea.

No caso de tipos diferentes e sistemas de irrigação, cada um pode possuir uma eficiência e percentual de área molhada característico de cada metodologia. Considerou-se que sistema de irrigação por aspersão na superfície do solo possui uma Eficiência Média - Ef - de 55% e percentual de área molhada de 100%, ou seja, coeficiente de sombreamento (K_s) igual a 1.

Procurou-se estabelecer um coeficiente que corrigisse a Evapotranspiração de referência que é estabelecida para gramíneas, corrigida por um coeficiente de cultura (K_c). Esse coeficiente de ajuste representa o quociente, $K_c = E_{tc} / E_{to}$, e varia com a e estágio de desenvolvimento da cultura.

Neste caso será adotado um K_c ajustado à necessidade da taxa de aplicação de água do solo do local, estabelecendo uma lâmina baixa e fixa pela necessidade de evitar encharcamentos e erosão. Para esta finalidade o valor de $K_c=1$ a ser adotado para o projeto em questão atende a necessidade. Será projetado um sistema de bombeamento para trabalhar até 12 horas diárias, irrigando ao final do desenvolvimento uma área de 11,54 ha, correspondente aos 1,04 ha correspondente a área de topo desnuda que também abrigará o horto previsto e 10,5 ha correspondente às encostas que poderão sequencialmente ser irrigadas.

A fonte de recurso hídrico a ser utilizada será o chorume maturado com volume médio gerado anual da ordem de 150,25 m³/d, considerando ainda a maior vazão média de 287,9 m³/d modelada para o mês de maio e menor de 73,0 m³/d modelada para o mês de dezembro. Levando em conta a vazão média modelada, propõe-se a implantação de uma estação de bombeamento com capacidade de 12,0 m³/h para transferir em cerca de 12 h o chorume maturado captado na drenagem horizontal no ponto de convergência do lixiviados do aterro situado na área da antiga estação de condicionamento de chorume, nas coordenadas Geográficas 24L/UTM

561657/8571610, em frente à loja do supermercado Atakarejo para uma bacia de acumulação a ser implantada na área desnuda do topo do aterro.

A quantidade de chorume gerado é significativa e permite a utilização do mesmo em programa de fertirrigação a ser desenvolvido progressivamente, iniciando nos viveiros e horto previstos pela prefeitura na área do aterro e em seguida em outras áreas verdes próximas na medida em que se venha a controlar a erosão nas encostas do aterro Canabrava Fase A.

De acordo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), esse caso de Reuso enquadra-se na classificação reservada à irrigação para silvicultura de plantas ornamentais, paisagismo, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagos ornamentais, etc. De qualquer forma o destino final está de acordo com a **NBR13.969/97** - ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS e segue considerações acerca de aspectos relativos ao reuso de água, tais como: técnicas de reuso local; sistema de reservação e de distribuição; manual de operação e treinamento dos responsáveis; planejamento do sistema de reuso; volume do efluente a ser reutilizado e grau de tratamento necessário.

Sendo assim o projeto e a destinação final do efluente não põem em risco a saúde pública nem o ambiente a ser utilizado, pois este fim se aplica a um chorume maturado ao longo de 30 anos efluente tratado, equivalente a um esgoto tratado que será utilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, aplicável a usos tais como, irrigação dos jardins, na irrigação dos campos agrícolas, pastagens, etc.

5.4 Elevatória de Chorume Maturado

Uma Estação Elevatória será instalada no final da tubulação de drenagem horizontal no ponto de convergência do lixiviados do aterro situado na área da antiga estação de condicionamento de chorume, com a função de recalcar o chorume maturado até uma bacia de reservação a ser implantada em área desnuda no topo do Aterro Fase A. Propõe-se uma estrutura simples formada por bomba submersível instalada em reservatório enterrado de pelo menos 25 m³, podendo ser usado algum existente que venha a ser identificado na antiga estação e emissário em tubos de PVC 110 mm ou

PEAD 100 mm. Essa linha adutora deverá permitir o carregamento dos caminhões tanque ou reboques para a fertirrigação em outras áreas predeterminadas.

Foram adotados os seguintes critérios para o dimensionamento do conjunto elevatório:

- Número de conjuntos motobomba: 1 conjunto submersível multiestágio, recomendando-se um reserva em almoxarifado.
- Capacidade de bombeamento: como condição básica foi considerado que o conjunto elevatório deverá ser capaz de bombear em 12 horas o chorume maturado gerado disponível = 12,0 m³/h = 3,33 l/s.
- Tubulação de adução: em PVC PBA no diâmetro de 110 mm e extensão L de 250 m.

Para a determinação da altura manométrica (Hm) de projeto devem ser consideradas além da altura geométrica (Hg) as perdas de carga (Hf) de acordo com a expressão:

$$H_m = H_g + H_f$$

Para determinação das **perdas de carga** decorrentes do atrito nas tubulações foi utilizado a fórmula de Hazen-Williams de acordo com seguinte expressão:

$$(1) \quad V = 0,355.C.D^{0,63}.J^{0,54}$$

Onde:

V = velocidade, m/s

D = diâmetro da tubulação, m

J = perda de carga unitária, m/m

C = coeficiente que depende do material, no caso de tubos plásticos (polímeros) = 140 (adimensional)

Resultando:

$$Q=12,0 \text{ m}^3/\text{h}=3,33 \text{ l/s} \quad \} \quad J= 0,0023 \text{ m/m}$$

$$\varnothing \text{ DN } 100\text{mm}; C=140 \quad \} \quad J.L= 345,2\text{m} \times 0,0023 = 0,80 \text{ m}$$

A altura geométrica terá o valor de 43,0m correspondente ao desnível entre o ponto de tomada da bomba submersível na base do aterro e o ponto mais alto na

alimentação da bacia de reservação a ser implantada em área desnuda no topo do Aterro Fase A no Reservatório Elevado, distante 250 m.

As perdas de cargas decorrerão do atrito na tubulação de 250 m que liga os dois pontos de bombeamento e em peças e conexões (4 curvas 45°, 3 curvas 90° 2 registros 1 TE e 1 válvula de retenção) situadas nesse percurso. Essas peças e conexões equivalem a perdas localizadas expressas em metros de tubulações compondo com isso o comprimento total de 250,0 m + 95,20 m = **345,20 m**.

As perdas de carga serão de acordo com a fórmula de Hazen-Williams para um coeficiente de atrito de $C = 140$, correspondente a PVC da ordem de $(345,20 \text{ m} \times 0,0023 \text{ m/m}) \approx 0,80 \text{ m}$. A altura manométrica resultante será de:

$$H_g = 43,0 \text{ m} + 0,80 \text{ m} = 43,80 \text{ m.c.a.}$$

A bomba estará, portanto submetida às seguintes condições:

$$Q = 12,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_m = 43,80 \text{ m.c.a.}$$

Sugere-se a aquisição de duas bombas submersa EBARA, modelo 4BPLi11-10 de 4,5HP ou equipamento equivalente de outro bom fabricante. Apenas uma bomba será instalada, recomendando-se o armazenamento de bomba reserva do mesmo tipo em almoxarifado

5.5 Dados Básicos do Sistema de Irrigação

Será progressivamente irrigada uma área verde com cobertura de gramínea nas encostas e no horto além de gramíneas também vegetação arbustiva e arbórea. Conta-se com uma área total disponível de 11,54 ha, sendo 1,04 ha de área plana situada no topo do aterro, além de 10,5 ha nos taludes das encostas do aterro, a serem atendidos por um sistema de irrigação por aspersão, objeto deste projeto de uso do chorume maturado.

O método de irrigação por aspersão, que será utilizado, prevê o transporte de efluentes em tubulações pressurizadas e aplicação no solo sob forma de gotas, por aspersores, assim possibilitando a sua aplicação em solos cobertos por qualquer tipo de vegetação. *Ver Figura 5.1.*

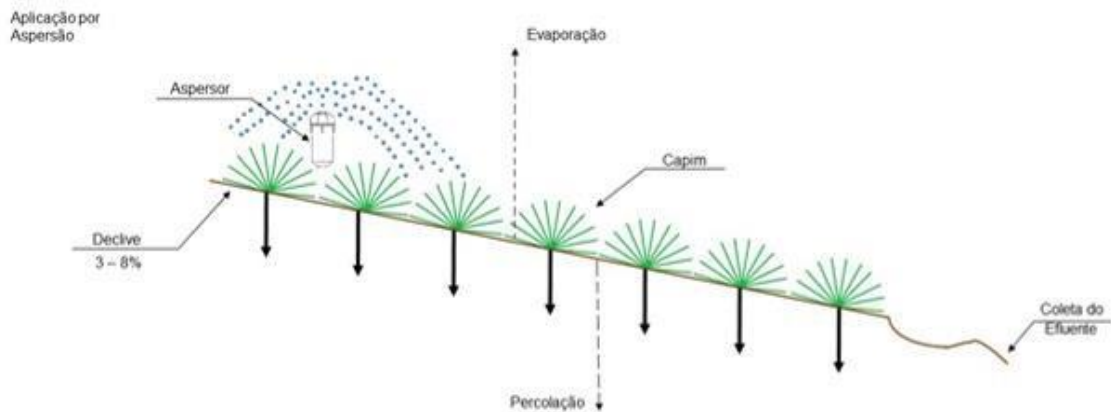


Figura 5.1 – Sistema de irrigação por aspersão.

O sistema é adequado a área de topografia irregular e de grandes declividades do terreno de encosta, além dos riscos de erosão. No ponto de vista agrícola, este método é o mais eficiente, porque obtém uma maior uniformidade de distribuição da massa líquida no terreno.

Para fertirrigação da área verde do Aterro Canabrava com capim e gramíneas será considerada a faixa de 2,5 a 3,0 mm/m comum na RMS e Recôncavo, com correspondentes vazões necessárias para irrigação da área de topo e encostas do Aterro Canabrava Fase A de 25,0 a 30,0 m³/ha.d requerendo de **5 a 6 ha**.

O projeto quando plenamente desenvolvido poderá abranger a área total disponível de 11,54 ha, situada favoravelmente a favor da segurança 2 vezes maior do que aquela suficiente e com isso controlar muito bem eventuais efeitos adversos de aumento da salinidade no solo irrigado.

- Espécie de Cultura e o Espaçamento Recomendado Capim e gramínea de 1,5 m x 2,0 m.

- Tipo de Solo

Latossolo Vermelho amarelo, textura argilosa de baixa permeabilidade.

- Topografia do Terreno Relevo ondulado.

- Lâmina Referencial (em mm)

2,5 a 3,0 mm/dia (equivalente a 25 a 30 m³/ha.d)

- Horas de Funcionamento

Máximo de 6 horas por aplicação, totalizando 2 aplicações e 12 horas/dia.

- Desnível Intermediário entre Bomba de Recalque e o Terreno a Irrigar

A área da bacia de estocagem do chorume maturado e onde estará instalada a bomba de captação e recalque

- Quantidade e Qualidade do Efluente

Chorume maturado equivalente a esgoto sanitário tratado de boa qualidade no volume diário de 150,0 m³, podendo chegar até 50% a mais que isso em variações mensais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aluisio Pardo Canholi. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. 1ª .ed. São Paulo SP: Oficina de Textos 2005. p.302.

Carlos Rodrigues de Mello. Hidrologia de Superfície Principios e Aplicação. 2ª .ed. Lavra MG: Ed UFLA – Universidade Federal de Lavras 2020. p.531.

Paulo Sampaio Wilken. Engenharia de Drenagem Supeficial. 2ª .ed. CETESB SP 1978. p.478.

BITTENCOURT, Abílio C. S. P.; DOMINGUEZ, José M. L.; MEDEIROS, Karla O. P.; GUIMARÃES, Júnia K.; DUTRA, Flávia R. L. S. Severe coastal erosion hotspots in the city of Salvador, Bahia, Brazil. Shore & Beach, v.76, n.1, p.01-07, 2008.

CARVALHO, L. Hernani de. Curso de Barragens de Terra - Volume I - com vistas ao Nordeste brasileiro. Fortaleza: Ministério do interior departamento nacional de obras contra secas, 1983.

CARVALHO, L. Hernani de. Curso de Barragens de Terra - Volume II - com vistas ao Nordeste brasileiro. Fortaleza: Ministério do interior departamento nacional de obras contra secas, 1984.

DUTRA, Flávia R. L. S. Marés meteorológicas e episódios de erosão costeira severa no litoral de Salvador/BA. 2008. 166f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geomorfologia. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

FREITAS, B.B.S. Políticas Públicas, Erosão Costeira E Ocupação Urbana Na Linha De Costa Entre Rio Vermelho e Pituba, Salvador/Bahia. Universidade Federal Da Bahia, Instituto De Geociências, Programa De Pós-Graduação Em Geografia. Salvador, 2016, 133 pag.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS / ABRH, 2022. p.818-819.

Marinha do Brasil, 2022. Centro de hidrografia da Marinha. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em, 25 de Outubro de 2022.

USGS, 2022. Dados Topográficos EARTH EXPLORE, USGS. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Acesso em 28 de Outubro de 2022.

MOLLE, François; CADIER, Eric. Manual do pequeno açude. Construir, conservar e aproveitar pequenos açúdes no Nordesre brasileiro. Recife, SUDENE-DPG-PRN-DPP-APR, 1992, p. 211-212.

MUEHE, Dieter. Geomorfologia costeira. In: CUNHA, Sandra B. da; GUERRA, Antonio J. T. (Org.). Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p.191-238.

NETTO, Azevedo; FERNANDEZ, Miguel Fernandez; ARAUJO, Roberto de; ITO, Acácio Eiji. Manual de hidráulica. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

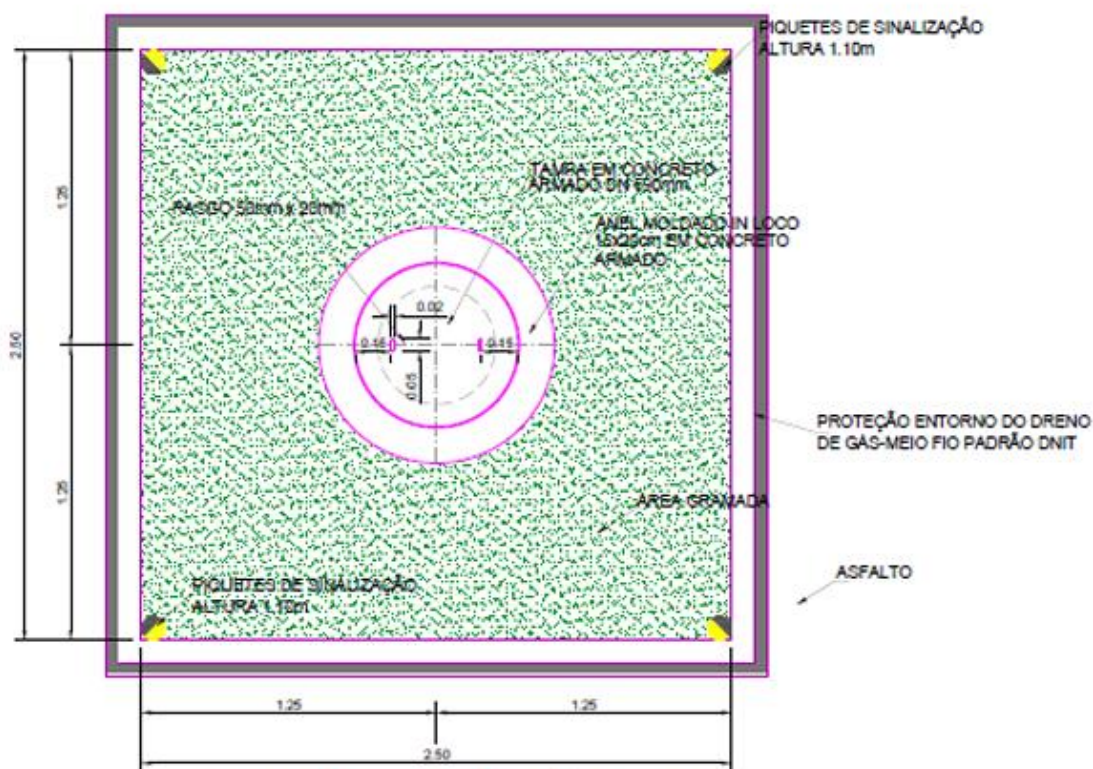
SILVA, Cleverson G.; PATCHINEELAM, Soraya M.; BAPTISTA NETO, José A.; PONZI, Vera R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BAPTISTA NETO, José A.; PONZI, Vera R. A.; SICHEL, Susanna E. (Org.). Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, p.175-218.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. Revista do Departamento de Geografia, 17, 11-23 p., 2005.

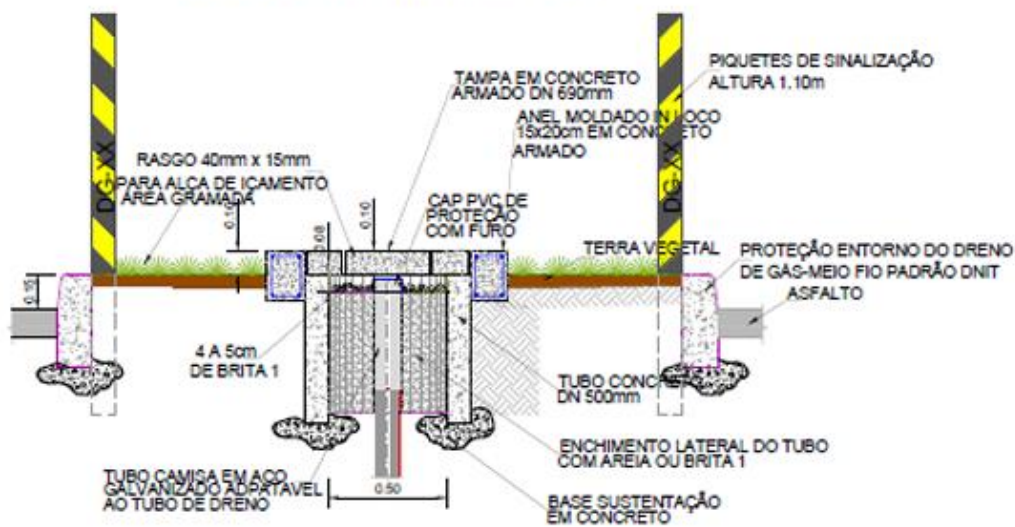
WILKEN, Paulo Sampaio. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. p.132.

VILLWOCK, Jorge A.; LESSA, Guilherme C.; SUGUIO, Kenitiro; ANGULO, Rodolfo J.; DILLENBURG, Sérgio R. Geologia e Geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, Celia R. de G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, Antonio M. dos S.; OLIVEIRA, Paulo E. de (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2005, p.94-113.

ANEXO I Drenos



DRENOS EM ÁREAS PAVIMENTADAS



OBS: SE PASSAR DE 1,20m PODERÁ SER NECESSÁRIO AUMENTAR DIÂMETRO DO POÇO

ANEXO II Laudos Analíticos

ANEXO III Peças Gráficas