



Capítulo 3. Caracterização do Empreendimento

**UNIDADE DE VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL (UVS)
BUJARU/PA**

**Brasília
Fevereiro de 2025**

SUMÁRIO

3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	5
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	7
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	9
3.2.1 <i>Classificação dos Resíduos</i>	9
3.2.2 <i>Previsão das Quantidades e Volumes de Resíduos</i>	12
3.3 UNIDADES DE INFRAESTRUTURA E DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS	13
3.3.1 <i>Unidade Administrativa, Operacional e demais Unidades de Apoio</i>	15
3.3.1.1 Portaria (Guarita e Cancela)	15
3.3.1.2 Balança	16
3.3.1.3 Edifício Administrativo e Operacional	16
3.3.1.4 Refeitório / Cozinha	16
3.3.1.5 Laboratório	16
3.3.1.6 Banheiros e Vestiários	17
3.3.1.7 Almoxarifado e Oficina	17
3.3.1.8 Pátio de Estocagem de Materiais	17
3.3.1.9 Pátio de Estacionamento	17
3.3.1.10 Acessos Internos	17
3.3.1.11 Barreira Vegetal, Cercas e Vigilância	17
3.4 DESCRIÇÃO DO PROJETO DA UVS BUJARU	18
3.4.1 <i>Características Físicas da Gleba</i>	19
3.4.1.1 Conformação Geométrica	22
3.4.1.2 Estudos da Estabilidade Geotécnica dos Maciços Sanitários	23
3.4.1.2.1 Métodos de Análises de Estabilidade	24
3.4.1.2.2 Fatores de Segurança	25
3.4.1.3 Análises de Estabilidade	25
3.4.2 <i>Fase de Implantação da UVS Bujaru</i>	46
3.4.2.1 Serviços de Terraplenagem, Supressão e Limpeza de Camada Vegetal	46
3.4.2.1.1 Equipamentos	47
3.4.2.2 Escavações e Aterros com Solos Compactados	48
3.4.2.2.1 Balanço de Massas	50
3.4.2.3 Implantação dos Sistemas de Proteção Ambiental	51
3.4.2.3.1 Impermeabilização da Área de Disposição de Resíduos	51
3.4.2.3.2 Sistema de Drenagem de Chorume na Fundação	53
3.4.2.3.3 Acessos e Pátio de Manobras	60
3.4.2.3.4 Sistema de Drenagem de Chorume e Gás nas Células de Resíduos	60
3.4.2.3.5 Drenagem de Gases	62
3.4.2.3.6 Sistema de Drenagem de Águas Pluviais	62
3.4.2.4 Mão de Obra	69
3.4.2.5 Canteiro de Obras	70
3.4.2.6 Infraestrutura	70
3.4.2.6.1 Abastecimento de Água	70
3.4.2.6.2 Energia Elétrica	70
3.4.2.6.3 Abastecimento de máquinas e equipamentos	70
3.4.2.7 Insumos	71
3.4.3 <i>Fase de Operação da UVS Bujaru</i>	71
3.4.3.1 Controle de Recebimento de Resíduos	71
3.4.3.2 Execução das Células de Resíduos e Camada de Cobertura	72
3.4.3.3 Plano de Avanço do Aterro 1 (AS-1)	73

3.4.3.4	Plano de Avanço do Aterro 2 (AS-2)	79
3.4.3.5	Monitoramento Geotécnico e Ambiental	85
3.4.3.5.1	Sistema de Monitoramento Geotécnico	86
3.4.3.5.2	Instrumentos e sistemática	86
3.4.3.6	Sistema de Monitoramento Ambiental	89
3.4.3.6.1	Monitoramento das águas subsuperficiais	89
3.4.3.6.2	Monitoramento das águas superficiais	89
3.4.4	Uso Futuro da Área	90
3.5	DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE BIOGÁS	91
3.5.1	Justificativas para Uso da tecnologia	91
3.5.1.1	Captação passiva e queima direta nos poços	92
3.5.1.2	Sistema proposto	92
3.5.2	Características Gerais do Projeto	93
3.5.2.1	Características dos equipamentos de sucção e destruição do gás de aterro	94
3.5.2.2	Vida útil do equipamento	95
3.5.2.3	Rede de poços e drenos e área de influência	95
3.5.3	Fase de Implantação da Unidade de Biogás	96
3.5.3.1	Cronograma de instalação	96
3.5.4	Fase de Operação da Unidade de Biogás	96
3.5.4.1	Sistema de captação e destruição do gás de aterro	96
3.5.4.1.1	Central de Aspiração e Combustão (CA)	97
3.5.4.1.2	Tocha de Combustão da Estação de Biogás	98
3.5.4.1.3	Descrição da Usina Térmica	99
3.6	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	100
3.6.1	Dimensionamento da ETE	100
3.6.2	Fase de Implantação da ETE	100
3.6.2.1	Obras Cíveis da ETE	100
3.6.2.2	Implantação da ETE	100
3.6.2.3	Comissionamento e testes da ETE	101
3.6.2.4	Cronograma	101
3.6.3	Fase de Operação da ETE	101
3.6.3.1	Equalização	102
3.6.3.1.1	Físico-Químico	102
3.6.3.1.2	Stripping de Amônia	103
3.6.3.1.3	Lodos Ativados	103
3.6.3.1.4	Deságue e Destinação do Lodo	105
3.6.3.1.5	Filtração	105
3.6.3.1.6	Nanofiltração	106
3.6.3.2	Controles Operacionais	106
3.7	MEDIDAS DE ENGENHARIA VISANDO GARANTIR A SEGURANÇA AMBIENTAL E A MITIGAÇÃO DE EVENTUAIS RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DE AQUIFEROS	106
3.7.1	Sistema de Barreiras de Base (Base Liner System)	107
3.7.2	Sistema de Drenagem de Chorume	108
3.7.3	Geometria e Compactação dos Resíduos	108
3.7.4	Camada de Cobertura Provisória e Final	108
3.7.5	Considerações Geotécnicas Adicionais	109
3.8	CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DA UVS BUJARU	109
3.9	ANEXOS	112

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CONFIGURAÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO	6
FIGURA 2. LAYOUT GERAL	11
FIGURA 3. ÁREAS PRECONIZADAS.....	15
FIGURA 4. LOCAÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E POÇOS DE MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO.	20
FIGURA 5. LOCAÇÃO DAS SEÇÕES DE ESTABILIDADE AS-1	27
FIGURA 6. SEÇÃO A – NORTE – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=2,08$	28
FIGURA 7. SEÇÃO A – NORTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,88$	28
FIGURA 8. SEÇÃO A – NORTE – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,87$	29
FIGURA 9. SEÇÃO A – NORTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,74$	29
FIGURA 10. SEÇÃO A – SUL – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=2,16$	30
FIGURA 11. SEÇÃO A – SUL – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,89$	30
FIGURA 12. SEÇÃO A – SUL – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,94$	31
FIGURA 13. SEÇÃO A – SUL – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,74$	31
FIGURA 14. SEÇÃO H – LESTE – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=2,14$	32
FIGURA 15. SEÇÃO H – LESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,91$	32
FIGURA 16. SEÇÃO H – LESTE – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,92$	33
FIGURA 17. SEÇÃO H – LESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,75$	33
FIGURA 18. SEÇÃO H – OESTE – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=2,02$	34
FIGURA 19. SEÇÃO H – OESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,83$	34
FIGURA 20. SEÇÃO H – OESTE – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,81$	35
FIGURA 21. SEÇÃO H – OESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,68$	35
FIGURA 22. LOCAÇÃO DAS SEÇÕES DE ESTABILIDADE AS-2.	37
FIGURA 23. SEÇÃO F – LESTE – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,87$	38
FIGURA 24. SEÇÃO F – LESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,68$	38
FIGURA 25. SEÇÃO F – LESTE – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,67$	39
FIGURA 26. SEÇÃO F – LESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,52$	39
FIGURA 27. SEÇÃO F – OESTE – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,88$	40
FIGURA 28. SEÇÃO F – OESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,67$	40
FIGURA 29. SEÇÃO F – OESTE – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,67$	41
FIGURA 30. SEÇÃO F – OESTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,52$	41
FIGURA 31. SEÇÃO G – NORTE – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,85$	42
FIGURA 32. SEÇÃO G – NORTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,62$	42
FIGURA 33. SEÇÃO G – NORTE – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,65$	43
FIGURA 34. SEÇÃO G – NORTE – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,49$	43
FIGURA 35. SEÇÃO G – SUL – CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,98$	44
FIGURA 36. SEÇÃO G – SUL – NÃO CIRCULAR – $RU=0,2$ – $FS=1,79$	44
FIGURA 37. SEÇÃO G – SUL – CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,76$	45
FIGURA 38. SEÇÃO G – SUL – NÃO CIRCULAR – $RU=0,3$ – $FS=1,63$	45
FIGURA 39. ALTEAMENTO ETAPA 1 – AS-1.....	75
FIGURA 40. ALTEAMENTO ETAPA 2 – AS-1.....	76
FIGURA 41. ALTEAMENTO ETAPA 3 – AS-1.....	77
FIGURA 42. ALTEAMENTO ETAPA 4 – AS-1	78
FIGURA 43. ALTEAMENTO ETAPA 5 – AS-1.....	79
FIGURA 44. ALTEAMENTO ETAPA 1 – AS-2.....	81

FIGURA 45. ALTEAMENTO ETAPA 2 – AS-2.....	82
FIGURA 46. ALTEAMENTO ETAPA 3 – AS-2.....	83
FIGURA 47. ALTEAMENTO ETAPA 4 – AS-2.....	84
FIGURA 48. ALTEAMENTO ETAPA 5 – AS-2.....	85
FIGURA 49. ILUSTRAÇÃO DO MODO DE CAPTAÇÃO DE GASES.....	93
FIGURA 50. FLUXOGRAMA CONTENDO A SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS PROPOSTOS PARA O SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA UVS BUJARU.....	102

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	8
---	---

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. ESTIMATIVA DE RESÍDUOS.....	12
TABELA 2. RESULTADO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE “IN SITU”	22
TABELA 3. CAPACIDADE E VIDA ÚTIL.....	23
TABELA 4. CLASSIFICAÇÃO DOS TALUDES EM FUNÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA.....	25
TABELA 5. PARÂMETROS GEOTÉCNICOS UTILIZADOS.....	26
TABELA 6. RESUMO DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADES EFETUADAS NO ATERRO 1 (AS-1).	27
TABELA 7. RESUMO DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADES EFETUADAS NO ATERRO (AS-2).	36
TABELA 8. BALANÇO DE MASSAS PARA OS ATERROS AS-1 E AS-2.	50
TABELA 9. PROPRIEDADES DA GEOMEMBRANA DE PEAD TEXTURIZADA NAS DUAS FACES.....	52
TABELA 10. HISTÓRICO DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS DA CIDADE DE BELÉM/PA	53
TABELA 11. ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO, QUANTIDADES ESTIMADAS DE RESÍDUOS E VIDA ÚTIL DE OPERAÇÃO POR CADA ETAPA DO ATERRO 1 (AS-1).	74
TABELA 12. ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO, QUANTIDADES ESTIMADAS DE RESÍDUOS E VIDA ÚTIL DE OPERAÇÃO POR CADA ETAPA DO ATERRO AS-2.	81
TABELA 13. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DA UVS BUJARU.	110

3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento objeto deste licenciamento ambiental, complexo de destinação final e valorização de resíduos sólidos urbanos constitui-se como a atividade principal um Aterro Sanitário com co-disposição de resíduos enquadrados como Classe II, segundo a Norma Técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 10.004/2004 – Resíduos sólidos – Classificação, e será implantado e operado em conformidade com os critérios e procedimentos estabelecidos pelas legislações ambientais incidentes e normas técnicas específicas, à exemplo das NBR 8419 e NBR 13896.

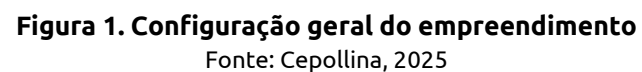
Além do maciço sanitário propriamente dito, também estão incluídas neste licenciamento todas as instalações de apoio necessárias e fundamentais para sua correta e segura operação, durante toda a vida útil, as quais estão descritas ao longo deste Capítulo, assim como, os detalhes de todos os elementos de proteção ambiental intrínsecos ao projeto básico do empreendimento.

A área do empreendimento destinado à implantação do Aterro Sanitário de Bujaru, na qual será denominado como **Unidade de Valorização Sustentável - UVS Bujaru**, tem área total de 200 hectares, sendo atualmente constituído basicamente por área de pastagem onde atualmente ainda é desenvolvida atividade pecuária, com algumas estruturas remanescentes para alimentação e dessedentação do gado. De modo geral, a área destinada ao empreendimento é antropizada, com fragmentos florestais e com algumas áreas mais conservadas com sub-bosque denso, estando estas formações e suas localizações mais detalhadas em Capítulo específico.

Quanto à topografia, a gleba se apresenta com as porções nordeste e centro oeste mais acidentadas onde estão localizados dois açudes (de dessedentação), cada um em um ponto baixo de cada região. As regiões trechos noroeste e sudeste têm relevos mais suaves, o que facilita a implantação do aterro, assim como a porção sul destinada à instalação das unidades administrativas, de apoio, portaria e balanças e as regiões sudoeste e centro leste onde deverão ser implantadas as unidades de tratamento e valorização de resíduos.

A configuração da UVS Bujaru propriamente dita resultará com dois maciços sanitários (denominados de AS-01 e AS-02), visando incorporar diagnósticos e avaliações das feições locais, das condições da região, a fim de garantir a conformidade plena com as efetivas condições do terreno.

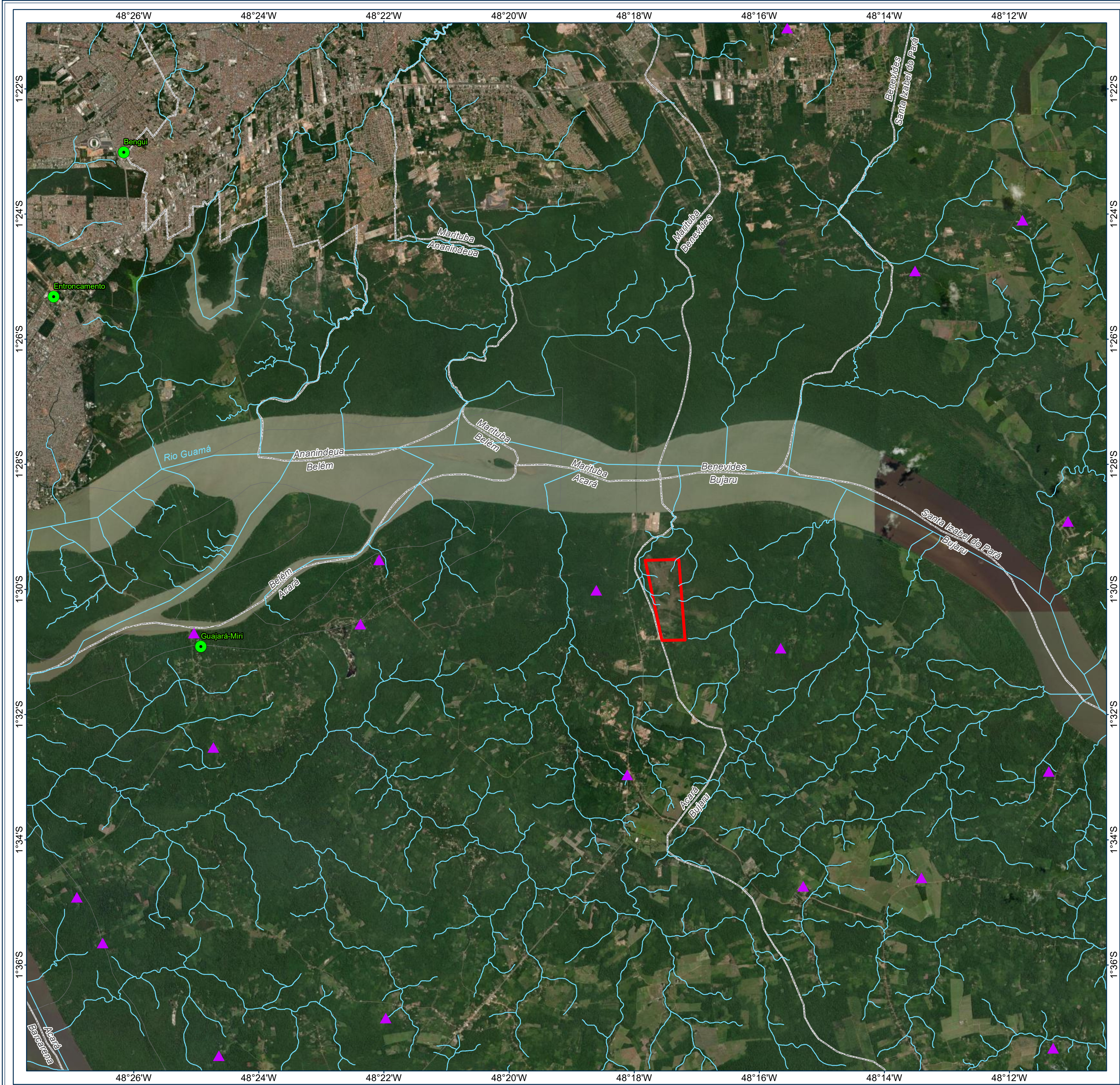
A Figura 1 apresenta a configuração do empreendimento com os maciços sanitários, as unidades administrativas e de apoio e as unidades de tratamento e valorização de resíduos contempladas neste projeto.



Para perfeito entendimento, encontram-se abordados a seguir todos os aspectos que dizem respeito ao planejamento estratégico, à concepção física e operacional para as fases de implantação e operação da UVS Bujaru.

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O empreendimento está localizado em zona rural do município de Bujaru, Estado do Pará, a cerca de 1,4 km do Rio Guamá e a cerca de 41 km da capital, Belém, nas coordenadas centrais UTM Zona 22 M 801.450m E / 9.833.750m S, conforme apresentado no Mapa 1.



Parâmetros Cartográficos

08001.6002.4003.200

metros

1:80.000

Projeção Geográfica (GSC)
Datum Horizontal: SIRGAS2000
Unidade: Graus

N

W

E

S

Legenda

▲

Aglomerado Rural Isolado

●

Localidades e Vilas

Áreas de Influência

□

Área de Influência Direta - Meio Físico e Biótico

□

Área Diretamente Afetada

Limites

□

Divisa Estadual

□

Limite Municipal



Fonte

Aglomerado Rural Isolado: IBGE, 2023; Áreas de Influência: Ambiantare, 2025; Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira (1:250.000): IBGE Geociências, 2022; Localidades e Vilas: IBGE, 2023; Trecho de Drenagem - Ottobacias Nível 6 - SEMAS 2025; Imagem: World Imagery fornecida pela galeria Basemap do ArcGIS 10 (Esri).

Empreendedor/Cliente		Execução	
Revita engenharia sustentável		 ambientare soluções em meio ambiente	
Projeto			
UVS BUJARU/PA			
Tema			
Localização do Empreendimento			
Tamanho		Elaboração	
A2		Thayná Guimarães Geóloga	
Data			
Janeiro/2025			

O acesso ao empreendimento, nas fases de implantação e operação da Unidade de Valorização Sustentável de Bujaru, será feito pela rodovia PA-483, também conhecida como Alça Viária do Pará, próximo ao km 16, a cerca de 3,5 km da ponte sobre o Rio Guamá.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos que serão recebidos na UVS Bujaru, visando o correto tratamento e a sua destinação final e valorização, como já mencionado, são classificados de acordo com a Norma Técnica da ABNT, por meio da NBR 10.004-2004 – Resíduos sólidos – Classificação, porém deve-se observar que a classificação também ocorre através da origem, o que também norteia e vem de encontro com a Lei 12.305 – PNRS.

3.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Para que os resíduos possam ser gerenciados adequadamente, eles são classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, levando-se em consideração à sua origem ou fonte e quanto ao seu grau de periculosidade em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas.

A Norma Técnica NBR 10.004:2004, define resíduos sólidos como os “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”, e estabelece a seguinte classificação para os resíduos:

- **Resíduos classe I – Perigosos:**

São aqueles que apresentam periculosidade ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Como periculosidade entende-se risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças ou risco ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. As demais características são definidas através de ensaios, especificados na própria NBR 10.004.

- **Resíduos classe II – Não perigosos:**

Classe II A: Não inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe II. Os resíduos Classe II A podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Classe II B: Inertes: definidos como inertes, são aqueles que mantêm suas concentrações abaixo dos limites especificados no “padrão de potabilidade das águas”, quando submetidos a testes de solubilização e lixiviação, excetuando os padrões de turbidez, cor e sabor.

Ainda com relação à classificação dos resíduos é fundamental a explanação referente à classificação pela origem da Lei 12.305 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), que assim como a NBR 10.004, entende que os resíduos são classificados como:

- a) Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- h) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- i) Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- j) Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Assim, com base nos resíduos que serão encaminhados à UVS Bujaru e nas explanações acima, o projeto desenvolvido, aqui apresentado, tem como objetivo dar tratamento e disposição final adequada e valorização, dentro dos mais rigorosos parâmetros técnicos e ambientais, aos resíduos Classe II que serão dispostos em áreas específicas e independentes.

A Figura 2 apresenta o layout geral proposto para o projeto da UVS Bujaru, para esta etapa de licenciamento ambiental, com a disposição de todas as unidades, as quais serão descritas na sequência.

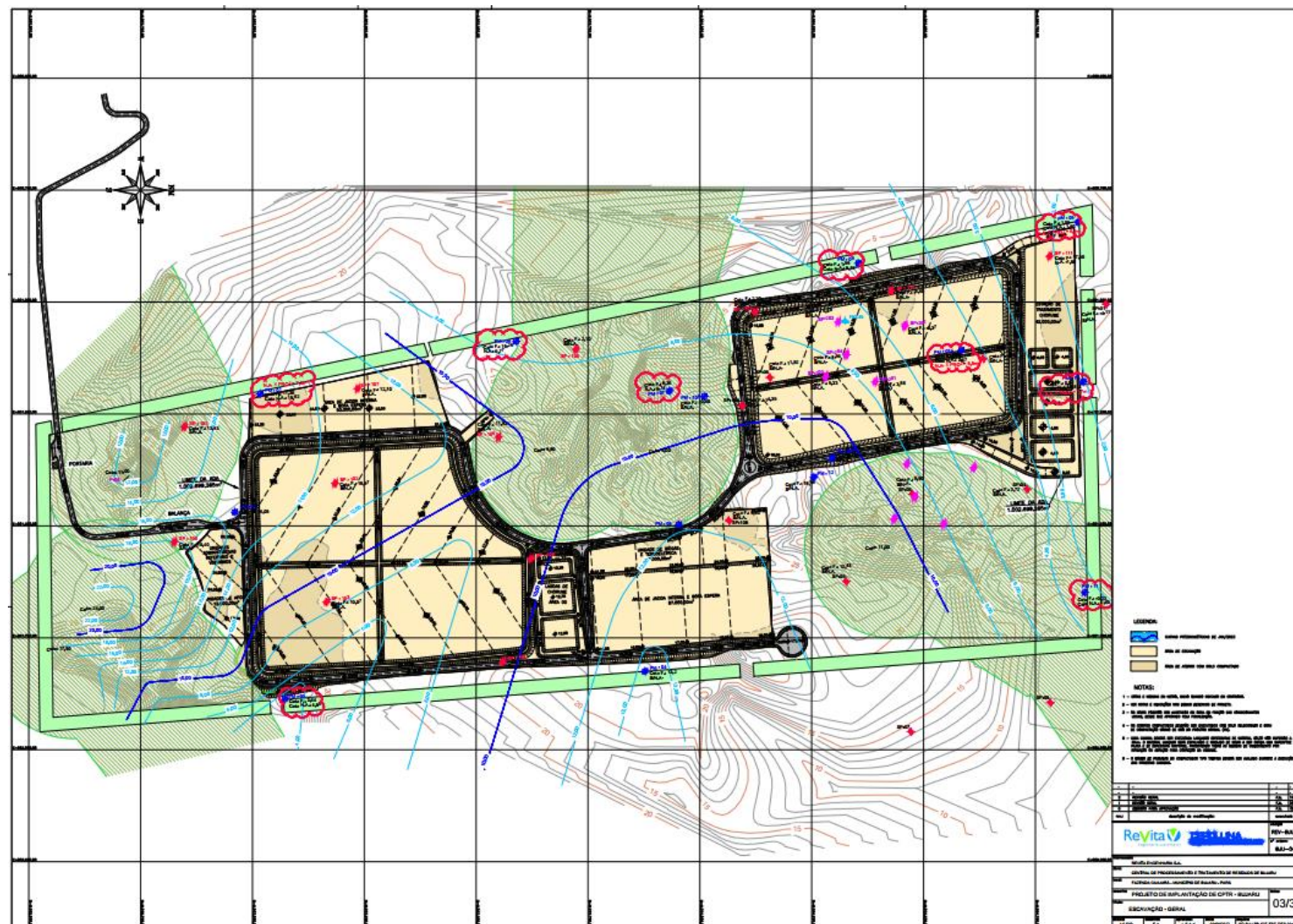


Figura 2. Layout geral

Fonte: Cepollina, 2025

3.2.2 PREVISÃO DAS QUANTIDADES E VOLUMES DE RESÍDUOS

As quantidades de resíduos para o tratamento e destinação final a serem abarcadas pela UVS Bujaru poderão variar ao longo do tempo, porém com baixa significância em termos de quantidades, mantendo uma média de recebimento inicial da ordem de 1.600 toneladas diárias de resíduos, que será considerada para este estudo, com a expectativa de atendimento ao município de Bujaru e alguns municípios da Região Metropolitana de Belém, sendo eles, a princípio, Belém, Marituba e Ananindeua.

Importante salientar que diante da ausência da declaração em banco de dados nacionais quanto a composição gravimétrica e quantidade de resíduos gerados pelos municípios prioritariamente previstos no atendimento da UVS Bujaru, bem como ausência de Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de todos esses municípios, adotou-se como referência o recebimento médio do único aterro sanitário licenciado na região para o recebimento dos resíduos desses municípios (1300 t/dia), adicionando-se uma previsão de crescimento populacional e a possível redução futura da geração em função do incremento da educação ambiental no incentivo a redução da geração de resíduos pela população associada a necessidade desses municípios a adequação da PNRS e o atingimento das metas do Planares.

Tabela 1. Estimativa de resíduos

Sub-Aterro	Etapas	Ano	Resíduos (t)	Resíduos Acumulados (t)
AS-1	1	1.00	584,000	584,000
		1.15	86,672	670,672
	2	2.00	497,328	1,168,000
		3.00	584,000	1,752,000
		3.15	88,311	1,840,311
	3	4.00	495,689	2,336,000
		5.00	584,000	2,920,000
		5.29	172,515	3,092,515
	4	6.00	411,485	3,504,000
		6.57	334,883	3,838,883
	5	7.00	249,117	4,088,000
		8.00	584,000	4,672,000
		8.77	448,389	5,120,389
AS-2	1	9.00	135,611	5,256,000
		10.00	584,000	5,840,000
		10.80	466,517	6,306,517
	2	11.00	117,483	6,424,000
		12.00	584,000	7,008,000
		13.00	584,000	7,592,000

Sub-Aterro	Etapas	Ano	Resíduos (t)	Resíduos Acumulados (t)
		14.00	584,000	8,176,000
		14.54	408,724	8,584,724
	3	15.00	175,276	8,760,000
		16.00	584,000	9,344,000
		17.00	584,000	9,928,000
		17.50	384,061	10,312,061
		4	18.00	199,939
	19.00		584,000	11,096,000
	20.00		584,000	11,680,000
	20.82		572,641	12,252,641
	5	21.00	11,359	12,264,000
		22.00	584,000	12,848,000
		23.00	584,000	13,432,000
		24.00	584,000	14,016,000
		24.45	260,616	14,276,616
TOTAL			14,276,616	

Os tipos de resíduos classificados como Classe II que poderão ser destinados UVS Bujaru serão os seguintes:

- resíduos sólidos domiciliares residenciais e material de varredura;
- resíduos sólidos domiciliares originários de estabelecimentos públicos, institucionais, de prestação de serviços, comerciais e industriais, entre outros com características de classe IIA;
- resíduos inertes, caracterizados como classe IIB pela norma técnica, entre os quais entulhos, terra e sobras de materiais de construção;
- resíduos volumosos e indivisíveis como restos de móveis, de colchões, de utensílios, de mudanças e outros similares;
- resíduos sólidos originados em feiras livres e mercados.

3.3 UNIDADES DE INFRAESTRUTURA E DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

A UVS Bujaru será instalada em uma gleba de área total de 2.000.000 m² e contará com dois maciços sanitários para resíduos classes II-A (não perigosos) e II-B - inertes, além de áreas destinadas às unidades administrativas e de apoio e áreas para a implantação de outras atividades relacionadas ao tratamento e valorização de resíduos, além de acessos, pátios e estacionamentos. As unidades de infraestrutura e de tratamento de resíduos previstas estão elencadas a seguir:

- Aterro Sanitário (Unidade Administrativa, operacional e demais unidades de apoio);
- Unidade de Biogás;
- Estação de Tratamento de Efluentes (chorume);
- Usina Térmica;

A Figura 3 apresenta a localização das unidades preconizadas para o Empreendimento, as quais serão detalhadas em seguida.



Figura 3. Áreas preconizadas

Fonte: Cepollina, 2023.

3.3.1 UNIDADE ADMINISTRATIVA, OPERACIONAL E DEMAIS UNIDADES DE APOIO

As instalações prediais para o apoio as atividades diárias de implantação e operação do empreendimento estão descritas a seguir.

3.3.1.1 Portaria (Guarita e Cancela)

A portaria localizada junto ao portão do acesso principal à área do empreendimento contará com a instalação predial da guarita e com cancela, tendo a função de controlar e fiscalizar a entrada e a saída de veículos autorizados a circular na área da UVS Bujaru, exercendo a fiscalização sobre a entrada de resíduos, não permitindo a entrada de resíduos não autorizados. Esta edificação será construída de forma sustentável, dentro das melhores práticas de engenharia.

3.3.1.2 Balança

Serão instaladas duas balanças rodoviárias junto ao acesso interno principal, logo após a entrada do empreendimento, com a função registrar as quantidades de resíduos que adentrarão à UVS de Bujaru.

Estas balanças terão capacidade para pesagem de veículos com carga de até 80 toneladas, com sistema totalmente eletrônico e com células de carga, sem sistemas de alavanca, com indicação simultânea de peso bruto, líquido e tara.

Junto às balanças será implantado a cabine de controle, que será construída de forma sustentável, dentro das melhores práticas de engenharia.

3.3.1.3 Edifício Administrativo e Operacional

A função desse edifício é a de proporcionar as condições adequadas para se efetuar as atividades administrativas e operacionais da UVS Bujaru, sendo composta por: recepção, sanitários, sala reservada e treinamento e recepção de visitantes, sala de reunião, salas de escritórios.

Na mesma edificação poderão ser alocadas a unidade administrativa e o Centro de Educação Ambiental, sendo o primeiro com a função de proporcionar as condições adequadas para a realização das atividades diárias de administração, controles operacionais, monitoramento e acompanhamento dos trabalhos desenvolvidos no empreendimento.

O Centro de Educação Ambiental será o local destinado a realização de palestras e cursos educativos e de capacitação para colaboradores e comunidade, visando à educação ambiental.

Esta edificação será executada de forma sustentável, dentro das melhores práticas de engenharia.

3.3.1.4 Refeitório / Cozinha

O refeitório tem a função de oferecer aos colaboradores da UVS Bujaru condições adequadas para sua alimentação. Nesta edificação também terá a cozinha e será construída de forma sustentável, dentro das melhores práticas de engenharia.

3.3.1.5 Laboratório

A edificação destinada às instalações do laboratório terá a função exclusiva de realizar análises químicas simples e expeditas para o controle operacional da Estação de Tratamento de Efluente na ocasião de sua operação. Portanto, será parte integrante do complexo da ETE conjugado a instalação da mesma.

3.3.1.6 Banheiros e Vestiários

Tem por função oferecer ambiente adequado para a necessária higiene dos colaboradores. Nas frentes de obra, serão instalados banheiros químicos em pontos estratégicos da área.

3.3.1.7 Almoxarifado e Oficina

O Almoxarifado /Oficina possui a função de estocagem de ferramentas manuais para pequenos reparos. Esta estrutura está inserida na mesma região que será instalado o prédio administrativo.

3.3.1.8 Pátio de Estocagem de Materiais

Este pátio se configura como local de armazenamento temporário de material utilizado no aterro, como: canaletas, pedras, tubos, material de cobertura do aterro dentre outros materiais indispensáveis ao desenvolvimento das obras, operação do aterro e manutenção das unidades.

3.3.1.9 Pátio de Estacionamento

Trata-se de área reservada para o estacionamento de veículos de pequeno porte utilizados no apoio às atividades operacionais do empreendimento e veículos pertencentes aos funcionários e/ou visitantes, localizada na região do prédio administrativo.

3.3.1.10 Acessos Internos

Os acessos internos principais serão executados com pavimento asfáltico e/ou com bloquetes intertravados e os acessos secundários com pavimentos primários reforçados, executados com largura mínima de 8,0m, por meio da melhoria efetiva das condições do subleito, implantação de camada de rachão, com espessura de 20cm, compactada com a passagem de trator de esteiras, implantação de camada de brita nº 4 com espessura de 10cm, compactada também com trator de esteiras e finalmente uma camada superior com 5cm de bica corrida, compactada com rolo liso vibratório.

3.3.1.11 Barreira Vegetal, Cercas e Vigilância

A barreira vegetal será implantada em terreno natural ocupando uma área da ordem de 185.000 m², circundando toda a gleba do empreendimento. Neste perímetro terão 6 (seis) passagens destinadas a acessos e saídas do sistema de drenagem das águas pluviais.

A faixa da barreira vegetal que circundará a área da UVS Bujaru será implantada com uma largura da ordem de 30 metros, de maneira a, efetivamente, constituir-se em barreira de atenuação de impactos, instituindo a reintegração da área. A barreira vegetal deverá priorizar a vegetação já existente, sendo realizado o adensamento nos pontos necessários.

Para o adensamento será priorizada a produção, germinação e crescimento de vários mudas em viveiro no local, de forma a garantir a integridade e qualidade das espécies, até que ocorra o plantio ao longo da barreira vegetal.

O cercamento da área atuará com controle de invasores no empreendimento e deve abranger todo o perímetro do empreendimento, contando com mourões de concreto, com 2,00 m de altura e espaçados de 2,50 m. Os mourões deverão ser enterrados a uma profundidade de 0,5 m. O fechamento será efetuado através de tela metálica.

Além de ser uma das maneiras de controle é a restrição de acesso às áreas internas do empreendimento e, especificamente, de catadores aos resíduos dispostos na UVS Bujaru, o que não será permitido.

Com o intuito de garantir a integridade física dos profissionais que atuarão no interior da área da UVS Bujaru, bem como do patrimônio do empreendedor, a área deverá ser isolada com controle de entrada e saída junto à portaria e será, ainda, implementado um sistema de vigilância que consistirá em uma equipe de vigilantes munidos de equipamentos de controle.

A equipe de vigilância será responsável por inibir a entrada de pessoas não permitidas ao empreendimento, evitando, desta maneira, invasões e presença de catadores de lixo no interior da área. Para tanto, os vigilantes deverão estar posicionados em pontos estratégicos, como portarias, guaritas, balanças e outros que se julgarem necessário no transcorrer do período de operação da UVS Bujaru.

O dimensionamento da equipe de vigilância será estabelecido conforme dinâmica operacional do empreendimento de modo a garantir os aspectos supracitados.

3.4 DESCRIÇÃO DO PROJETO DA UVS BUJARU

Com o objetivo de atender os municípios de Bujaru e da Região Metropolitana de Belém, bem como de outros municípios, com um moderno sistema de tratamento e disposição final e valorização dos resíduos urbanos, a UVS Bujaru se apresenta como alternativa segura e ambientalmente sustentável e em consonância com todas as normas e leis vigentes.

O empreendimento em questão será implantado e operado atendendo rigorosamente aos critérios e procedimentos estabelecidos nas leis ambientais e normas técnicas específicas, considerado os critérios estabelecidos nas Normas Técnicas da ABNT NBR 8.419 – *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos* e a NBR 13.896 – *Aterros de resíduos não perigosos – Critério para projeto, implantação e operação*. Foi projetado para causar o menor impacto possível à comunidade do entorno e aos recursos naturais.

A UVS Bujaru contempla, em seus dois maciços de resíduos, a impermeabilização de todas as áreas que receberão resíduo, a proteção às águas subterrâneas e superficiais, e sistemas de coleta e tratamento de gases e do chorume, além de contar com operação adequada por meio da compactação e o recobrimento constante do lixo depositado com camadas de solo e cobertura das áreas definitivas com geomembrana de PEBD (polietileno de baixa densidade), evitando a proliferação de aves, insetos e animais transmissores de doenças e o mau cheiro.

Como premissa, o projeto da UVS Bujaru foi concebido de forma a aproveitar da melhor maneira possível o terreno, para tanto foi realizado levantamento planialtimétrico de área, além de levar em conta as seguintes premissas:

- Recuos mínimos de preservação (zonas habitadas, córregos, estradas etc.);
- Minimização dos impactos visuais;
- Maximização das condições de estabilidade geotécnica do maciço de resíduos;
- Morfologia e geomorfologia dos terrenos;
- Interferência com as águas subterrâneas;
- Necessidades de acessos;
- Limites de propriedades.

Como dito anteriormente, a UVS Bujaru será dividida em dois sub-aterros sanitários distintos (maciços sanitários), denominados Aterro 1 (AS-1) e Aterro 2 (AS-2), com previsão inicial de recebimento diário de 1.600 toneladas de resíduos classe II.

O Aterro 1 (AS-1) está localizado na porção noroeste da área do empreendimento, com área de aproximadamente 211.700 m², com capacidade para disposição de cerca de 5.120.389 toneladas de resíduos na configuração final do maciço sanitário, perfazendo uma vida útil de aproximadamente 8 anos e 11 meses.

O Aterro 2 (AS-2) está localizado na porção sudeste, ocupando uma área da ordem de 292.800 m², onde será conformado o maciço sanitário com capacidade para disposição final de cerca de 9.156.227 toneladas de resíduos na configuração final o maciço sanitário, perfazendo uma vida útil de aproximadamente 15 anos e 11 meses.

No Anexo I, referente ao Projeto Básico, constam as plantas de detalhamento da UVS Bujaru.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA GLEBA

Para a implantação da Unidade de Valorização Sustentável de Bujaru foi prevista na etapa de projeto, ou seja, anteriormente ao início da execução das obras, a realização de avaliações quanto à adequabilidade e segurança das fundações, tanto nos aspectos

ambientais como dos fatores que condicionam a estabilidade dos maciços que servem de fundação do maciço.

Para tanto, foi realizada uma ampla campanha de investigação geológico-geotécnica, contemplando a execução de sondagens a percussão e ensaios de infiltração, com a realização de duas campanhas de sondagens, sendo a primeira com a execução de 11 (onze) furos com mediação de SPT, nas denominadas SPT- 01 a SPT 11B, resultando com 106,94 metros de prospecção, sendo que em nenhuma das sondagens foi detectado o nível d'água do lençol freático. Nesta campanha foram realizados três ensaios de infiltração "in situ", junto aos furos de sondagens SPT-01, SPT-02 e SPT-04, denominados INF-01, INF-02 e INF-04, contemplando 5 (cinco) ensaios em cada furo, sendo realizado um ensaio a cada metro nas profundidades de 1,0 a 5,0 metros.

A segunda campanha foi executada com 12 (doze) furos com medição de SPT, nas denominadas SP-100 a SP-111, resultando com 153,51 metros de prospecção, sendo que o nível d'água do lençol freático foi detectado somente na sondagem SP- 111, a 9,10 m de profundidade.

Para o monitoramento do lençol freático foram instalados 12 (doze) poços de monitoramento, denominados PM-01 a PM-12, executados pela empresa Hudson Souza, com profundidades que variam de 9,15 m a 28,10 m.

A Figura 4 apresenta a localização das investigações geotécnicas e dos poços de monitoramento do lençol freático.

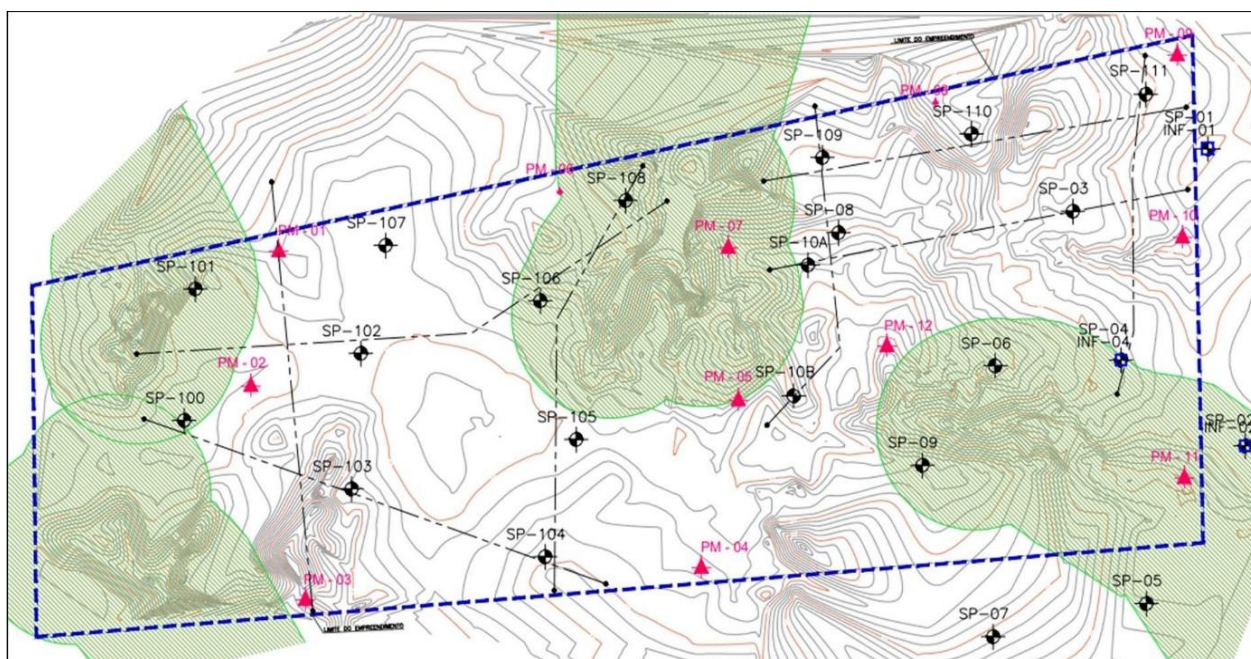


Figura 4. Localização das investigações geotécnicas e poços de monitoramento do lençol freático.

Fonte: Cepollina, 2023

As sondagens a percussão executadas na primeira campanha, com exceção da sondagem SP-03, apresentam camada superficial com espessura de 3,64 m a 6,0 m de silte areno-argiloso e silte arenoso seguido por camada de argila siltosa com compactidade rija a dura até o final das investigações quando impenetrável ao amostrador ou paralisado de acordo com o critério estabelecido de três passagens consecutivas com valores de SPT superiores a 30 golpes. Apenas o ponto SP-03 apresentou camada inicial com espessura de 6,0 m de silte arenoso seguido por camada de silte areno-argiloso com compactidade medianamente compacta até o final da prospecção. Não foi encontrado nível d'água do lençol freático nesta campanha de sondagens.

A segunda campanha executada, as sondagens SP-100, SP-101, SP-102, SP-103 e SP-111 apresentaram camada superficial com espessura de 0,35 m a 0,50 m de areia siltosa, seguido por camada de silte arenoso com matéria orgânica em todas as sondagens, com exceção da sondagem SP-109, seguido por camada de solo silte arenoso e silte argiloso com profundidades de 0,35 m a 4,35 m, seguido por camada de argila siltosa e argila arenosa com compactidade rija a dura até o final da investigação.

As sondagens SP-104 a SP-108 apresentaram camada superficial com espessura de 0,30 m a 0,60 m de silte arenoso com matéria orgânica, seguido por camada de silte argilo-arenoso e silte arenoso com profundidades de 0,30 m a 5,70 m, seguido por camadas de argila siltosa, argila silto-arenosa e argila arenosa com compactidade rija a dura até o final da investigação.

A sondagem SP-109 apresentou uma camada inicial de silte argiloso com espessura de 3,65 m, seguido por camada de argila siltosa e argila arenosa com compactidade muito rija a dura até o final da prospecção.

A sondagem SP-110 apresentou camada superficial com espessura de 0,50 m de silte arenoso com matéria orgânica, seguido por camada de silte arenoso e areia siltosa com profundidades de 0,50 m a 5,75 m, seguido por camadas de areia fina siltosa com compactidade muito rija e muito compacta até o final da investigação.

Nesta segunda campanha de sondagens foi verificado nível d'água do lençol freático somente na sondagem SP-111, a 9,10 m de profundidade.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade "in situ" estão apresentados na Tabela 2, atendendo plenamente ao estabelecido em norma.

Os perfis das sondagens e poços instalados são apresentados no Anexo II do Diagnóstico Ambiental – Meio Físico.

Tabela 2. Resultado do ensaio de permeabilidade "in situ".

Ponto do Ensaio	Profundidade do Ensaio (m)	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	Média do Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
INF-01	1,0	$1,08 \times 10^{-6}$	$2,06 \times 10^{-6}$
	2,0	$1,58 \times 10^{-6}$	
	3,0	$2,46 \times 10^{-6}$	
	4,0	$2,31 \times 10^{-6}$	
	5,0	$2,90 \times 10^{-6}$	
INF-02	1,0	$1,47 \times 10^{-6}$	$2,14 \times 10^{-6}$
	2,0	$1,77 \times 10^{-6}$	
	3,0	$2,05 \times 10^{-6}$	
	4,0	$2,54 \times 10^{-6}$	
	5,0	$2,85 \times 10^{-6}$	
INF-04	1,0	$1,57 \times 10^{-6}$	$1,97 \times 10^{-6}$
	2,0	$1,60 \times 10^{-6}$	
	3,0	$1,77 \times 10^{-6}$	
	4,0	$2,32 \times 10^{-6}$	
	5,0	$2,60 \times 10^{-6}$	

3.4.1.1 Conformação Geométrica

Todo o projeto da UVS Bujaru foi concebido com a diretriz da máxima utilização da área, respeitando sempre as limitações espaciais e normativas, para otimizar o volume disposto na menor área possível, para isso optou-se pela conformação em forma de pirâmide. Esta geometria é a mais adequada em áreas com pequenos desníveis e permite um menor impacto ambiental final.

A construção da UVS Bujaru da maneira preconizada, em dois maciços sanitários independentes, permite a organização da operação de resíduos de modo a agrupar resíduos com características semelhantes em áreas específicas, impondo assim um controle geotécnico e ambiental pontual, além de um perfeito mapeamento dos locais de disposição, essencial para a eficácia das medidas de controle ambiental.

A área de implantação do Aterro 1 (AS-1) contará com serviços de terraplenagem que se estenderá para a área de implantação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na ocasião de sua implantação, localizada em área adjacente ao AS-1, na porção norte, com o material excedente de escavação sendo disposto na área destinada a estocagem provisória de solos localizada na região leste, para posterior utilização nos serviços de implantação e operação (para a fundamental cobertura sanitária de resíduos visando minimizar impactos).

A área de implantação do Aterro 2 (AS-2), com características topográficas com elevação de cerca de 22 metros, servirá, durante a implantação e operação do aterro 1 (AS-1), como

jazida para exploração de solos necessários para os serviços de terraplenagem e cobertura dos resíduos depositados no AS1, garantindo logística e sincronismo de serviços de exploração e operacional.

Outro aspecto a salientar, consiste na facilidade de implantação de acessos na área operacional que, devido à conformação do terreno, poderão ser construídos para se trafegar sob qualquer condição climática, garantindo a continuidade de operação mesmo levando-se em conta os elevados índices pluviométricos incidentes na região.

A área do Aterro 1 (AS-1) será ocupada pelo alteamento de 9 células de resíduos contadas a partir do dique de disparo, com altura de cada célula igual a 5,0 m, intercaladas por bermas de 5,0 m de largura e uma berma de estabilização com 15,0 m de largura, atingindo uma altura máxima no nível de 60 metros. A capacidade volumétrica final deste aterro será de cerca de 5.019.989 m³ de resíduos.

A área do Aterro 2 (AS-2) será ocupada pelo alteamento de 12 células de resíduos com altura de cada célula igual a 5,0 m, intercaladas por bermas de 5,0 m de largura e duas bermas de estabilização com 15,0 m de largura, atingindo uma altura máxima no nível de 90 metros. A capacidade volumétrica final deste aterro será de cerca de 9.316.425 m³ de resíduos.

Portanto, a capacidade volumétrica de resíduos na UVS Bujaru, somando-se os dois aterros, será de cerca de 14.336.414 m³, representando uma capacidade de disposição final de resíduos de cerca de 14.276.616 toneladas, resultando com uma expectativa de vida útil da ordem de 24 anos e 9 meses, considerando peso específico de 1,0 t/m³, 15% de solo de cobertura em relação ao volume de resíduos, recalques conservadores de 20% e demanda inicial de recebimento de 1.600 toneladas diárias.

A Tabela 3 apresenta as áreas de ocupação de cada aterro, com suas respectivas capacidades e vida útil.

Tabela 3. Capacidade e vida útil.

Áreas		Capacidades	Vida Útil
AS-1	211.502 m ²	5.019.989 m ³	8 anos e 11 meses
AS-2	292.845 m ²	9.316.425 m ³	15 anos e 11 meses

3.4.1.2 Estudos da Estabilidade Geotécnica dos Maciços Sanitários

A geometria final dos taludes de um maciço sanitário está intimamente relacionada às condições internas de drenagem de gás e chorume, além dos preceitos de construção, que levam em consideração a substancial deformabilidade a que estará sujeito o maciço durante a sua operação, perdurando por muitos anos após o seu encerramento.

Inicialmente, a geometria foi definida em função das avaliações que consideram os parâmetros de resistência ao cisalhamento da massa de resíduos e uma distribuição de pressões neutras balizadas pela experiência em outros aterros já projetados e monitorados. Com o andamento das atividades de disposição de resíduos e a disponibilidade dos resultados de instrumentação, novas avaliações deverão ser utilizadas para a ratificação do plano geométrico idealizado.

3.4.1.2.1 Métodos de Análises de Estabilidade

Visando otimizar o plano de ocupação da área e obter maior capacidade e vida útil para o empreendimento, o projeto da UVS Bujaru foi desenvolvido considerando a sobreposição de camadas sucessivas que resultarão, no final de sua vida útil, com espessuras de resíduos próximas a 49 metros para o AS-1 e 70 metros no AS-2.

Ressalta-se que as considerações adotadas são conservadoras e remetem a condições eficientes de drenagem interna de gases e chorume, bem como de drenagem superficial.

Foram utilizados parâmetros geotécnicos e as poro-pressões consideradas através de parâmetros r_u , representando a relação entre poro-pressão e a tensão vertical atuante.

Com a finalidade de garantir a vida útil adequada a este tipo de empreendimento, associada à segurança geotécnica prioritária e fundamental, foram estabelecidas premissas de projeto a serem aplicadas na operação da UVS Bujaru, de maneira a atender aos critérios de segurança estabelecidos na norma técnica da ABNT NBR 11682 - Estabilidade de Taludes, que indica o fator de segurança mínimo de $FS = 1,50$ (para condição final de construção ou operação, com a norma admitindo para as etapas operacionais ou construtivas, fatores da ordem de $FS = 1,30$) na aplicação de modelos matemáticos baseados no método do equilíbrio-limite, para obras que necessitam de grau de segurança alto, como em questão.

Para a análise de estabilidade do talude, utilizou-se das teorias geotécnicas clássicas, considerando que o maciço está submetido a três campos de forças: as decorrentes do peso gravitacional, as decorrentes do escoamento interno da água (forças de percolação) e à resistência intrínseca ao cisalhamento.

Os métodos clássicos de análise consistem, basicamente:

- no cálculo das tensões em pontos do meio, comparando-as às tensões resistentes, avaliando o equilíbrio (Método de Análise de Tensões) e eventuais condições de geração zonas críticas de cisalhamento (tensões atuantes superiores às resistentes);
- isolar massas arbitrárias e estudar as condições de equilíbrio, pesquisando a de equilíbrio mais desfavorável (métodos de equilíbrio limite).

Ao longo do tempo diversos autores propuseram inúmeros métodos de avaliação da estabilidade de taludes, podendo-se citar, por exemplo: Fellenius (1936), Bishop (1955), Spencer (1967) e Janbu (1973), dentre muitos outros.

Os métodos de análise variam entre si pelas metodologias de cálculo, formatos considerados para as superfícies de ruptura (circulares e não circulares preferenciais) e hipóteses de discretizações e simplificações incorporadas.

A crescente disponibilização de cálculo numérico e da informática permitiu aos métodos de análise tornarem-se cada vez mais sofisticados, além da possibilidade de imposição de varreduras (de superfícies testadas).

Para o presente caso, optou-se por se utilizar o programa "Slide", da empresa canadense RocScience, baseado no método do equilíbrio limite desenvolvido por Bishop e Spencer, com o fator de segurança sendo determinado considerando o equilíbrio de forças e momentos, e permitindo a consideração de superfícies com formato circular, bem como com metodologia para superfícies não circulares.

3.4.1.2.2 Fatores de Segurança

Tem se convencionado classificar os taludes, em função do fator de segurança, em três grupos, em conformidade com a norma brasileira, dependendo do grau de segurança necessário para cada situação de obra ou operação, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação dos taludes em função do fator de segurança.

Fator de Segurança - FS	Condição
$FS \geq 1,50$	Taludes seguros - estáveis
$1,30 \leq FS < 1,50$	Faixa de valores precários, aceitável mediante o procedimento de monitoramento constante
$FS < 1,30$	Taludes inseguros - instáveis

Outra forma utilizada na análise de segurança, também em conformidade com a norma brasileira, é o controle das movimentações (deslocamentos horizontais e recalques) e das velocidades de deslocamentos, de maneira a avaliar comportamentos anômalos ou diferenciados, de forma antecipada.

3.4.1.3 Análises de Estabilidade

As análises de estabilidade foram efetuadas procurando considerar as condições mais críticas em termos de geometria, de fase executiva, de parâmetros da resistência e de poro-pressões, considerando:

- Superfícies rasas, levando em conta estratos com eventuais poro-pressões mais elevadas pela grande suscetibilidade às infiltrações;
- Superfícies profundas abrangentes, avaliando estratos mais antigos, maiores massas mobilizadas e eventual pressão neutra elevada na base;
- Superfícies considerando a influência de fundação, que, no presente caso, com solos residuais muito compactos, não são condicionantes;
- Superfícies considerando planos preferenciais de ruptura no contato direto com a fundação, como nos contatos com geossintéticos.

As análises de estabilidade executadas para os aterros AS-1 e AS-2 foram efetuadas procurando considerar a condição crítica, ou seja, com alteamento máximo dos maciços sanitários.

Para cada uma das seções, foram analisados dois tipos de ruptura: circular, com cunha de ruptura atravessando a camada de resíduos, e não circular, com a cunha de ruptura ocorrendo nas camadas de fundação, no contato entre a geomembrana de PEAD e o geotêxtil.

Em todas as simulações, as análises foram efetivadas considerando células com disposição apenas de resíduos urbanos.

Os parâmetros geotécnicos considerados são conservadores e os níveis de chorume analisados estão associados à hipótese de maciços submetidos à drenagem interna eficiente, dentro dos critérios definidos no projeto e com condições construtivas e operacionais adequadas.

Os parâmetros geotécnicos definidos para o estudo em questão estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros geotécnicos utilizados.

Material	Coesão (tf/m²)	Ângulo de Atrito (°)	Peso Específico (tf/m³)	Ru
Resíduo (alteamento de projeto)	1,9	28	1,0	0,2/0,3
Contato BIDIM/Manta PEAD	1,0	19	1,0	0,2/0,3
Dique	2,5	30	1,8	0,0
Solo Natural	2,5	30	1,8	0,0

As análises de estabilidade foram efetivadas pelo método de Spencer, utilizando-se o programa Slide, com busca automática de superfícies circulares críticas no interior do maciço sanitário e de superfícies não circulares pela fundação.

A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos nas análises efetuadas para o AS-1.

Tabela 6. Resumo das análises de estabilidades efetuadas no Aterro 1 (AS-1).

Seção	Face	Etapas	Superfície Circular	Superfície Não Circular
A	Norte – Ru 0,2	AS1	2,08	1,88
A	Norte – Ru 0,3	AS1	1,87	1,74
A	Sul – Ru 0,2	AS1	2,16	1,89
A	Sul – Ru 0,3	AS1	1,94	1,74
H	Leste – Ru 0,2	AS1	2,14	1,91
H	Leste – Ru 0,3	AS1	1,92	1,75
H	Oeste – Ru 0,2	AS1	2,02	1,83
H	Oeste – Ru 0,3	AS1	1,81	1,68

A localização das seções de estabilidade do Aterro 1 (AS-1) e as seções com as superfícies de ruptura e seus respectivos fatores de segurança estão apresentadas nas figuras a seguir.

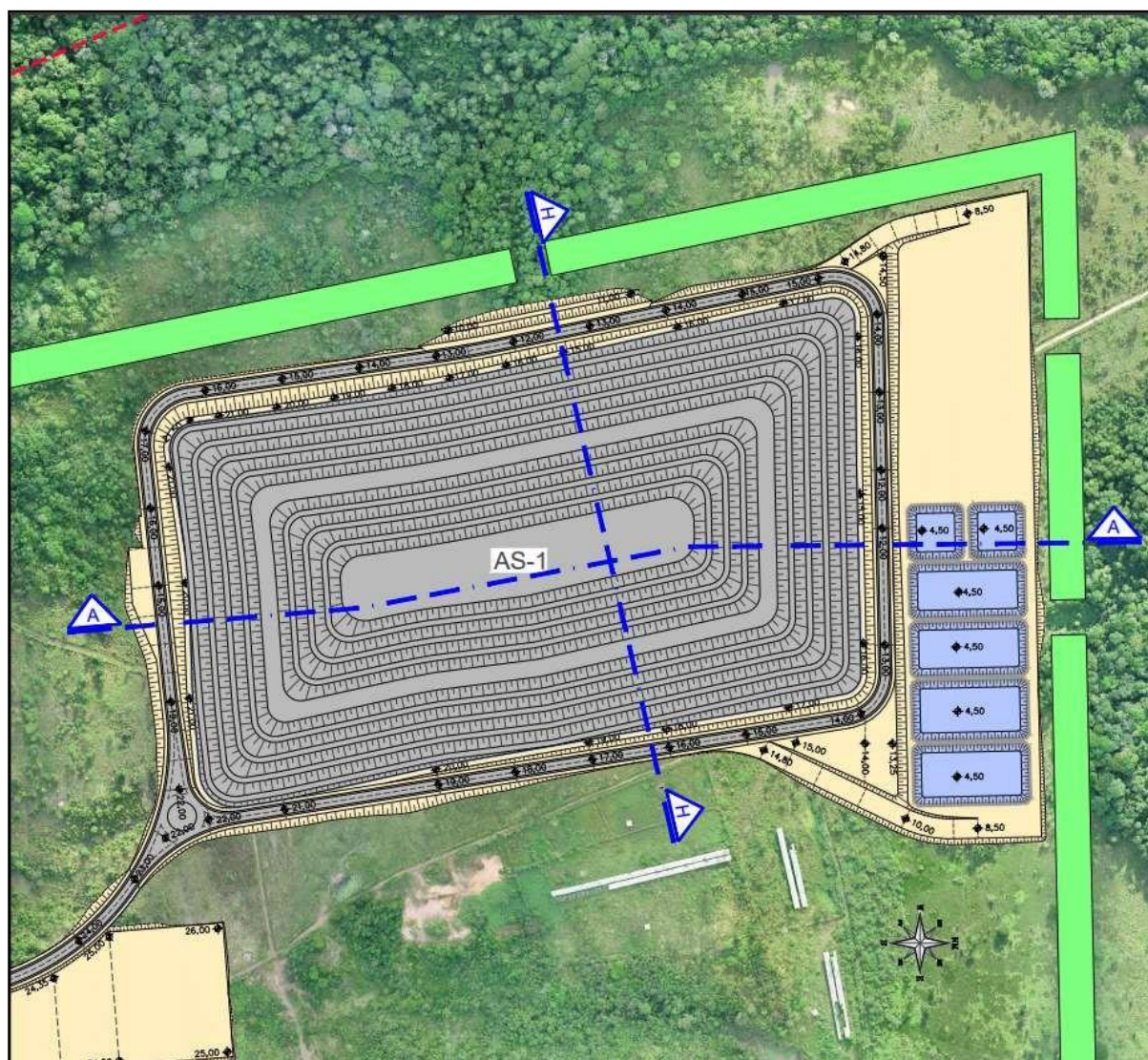


Figura 5. Localização das seções de estabilidade AS-1

Fonte: Cepollina, 2023

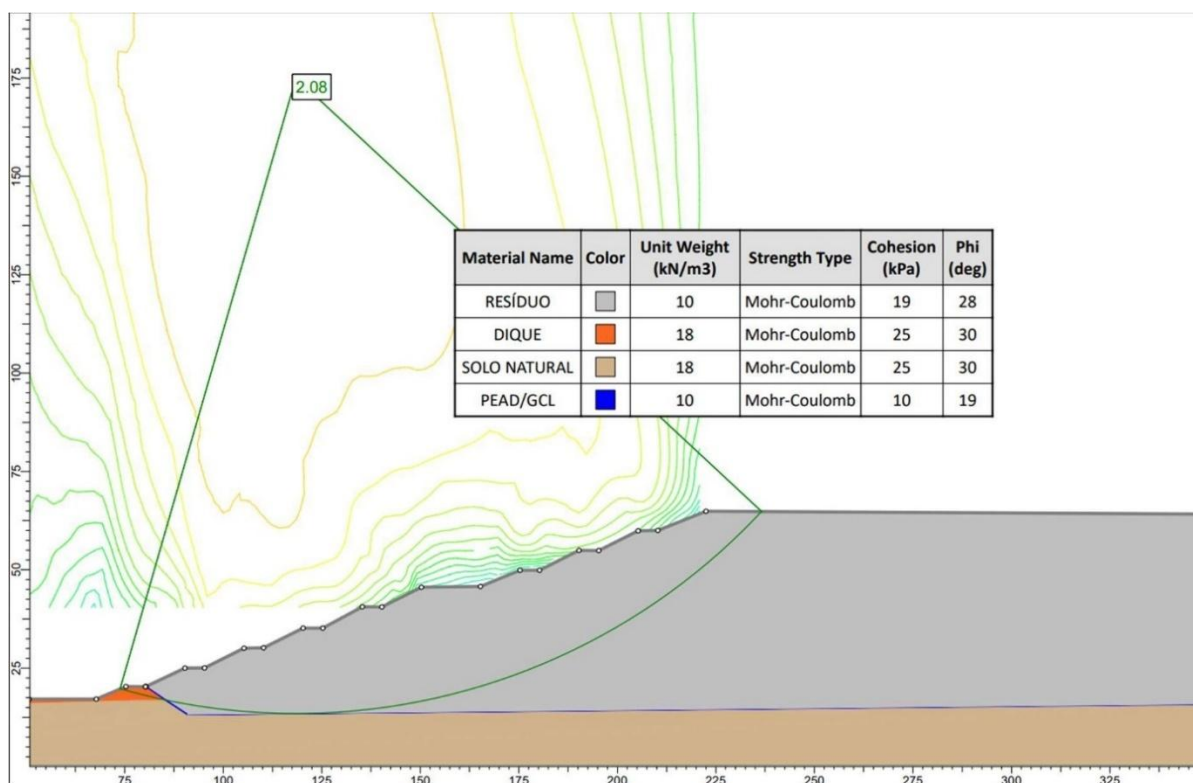


Figura 6. Seção A – Norte – Circular – $ru=0,2$ – $FS=2,08$.
Fonte: Cepollina, 2023

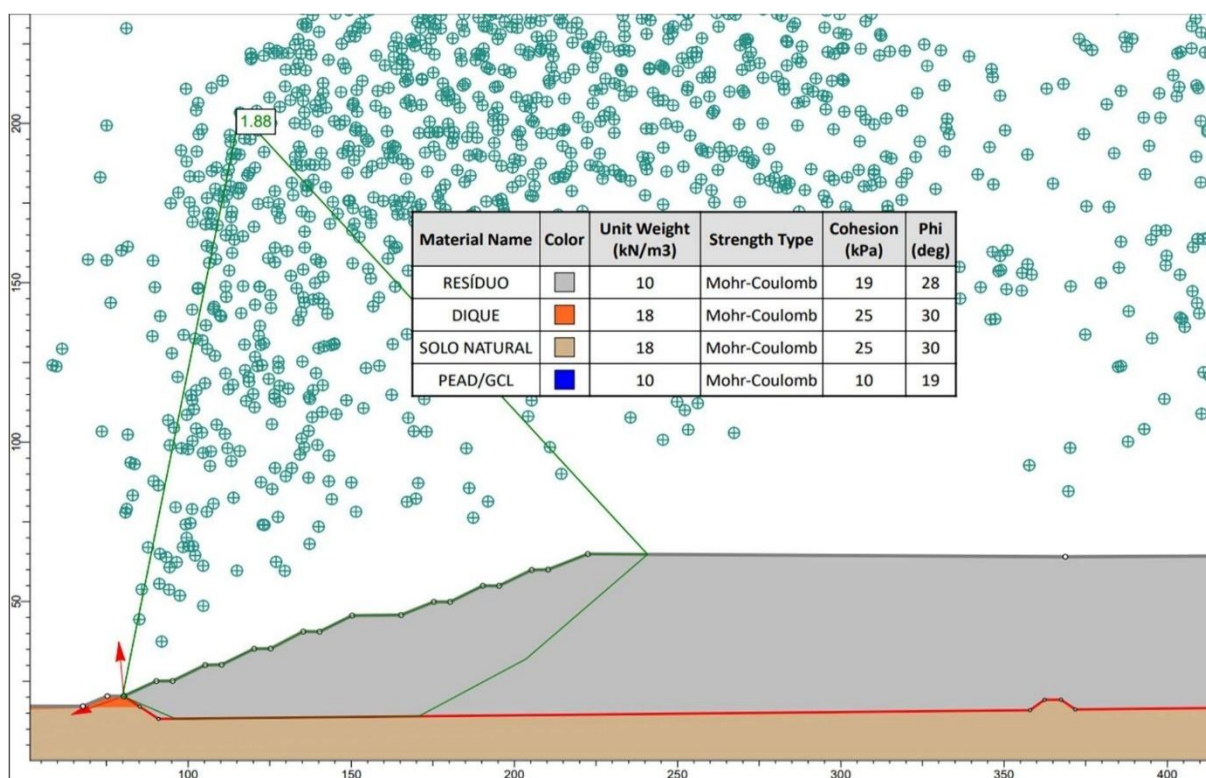


Figura 7. Seção A – Norte – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,88$.
Fonte: Cepollina, 2023

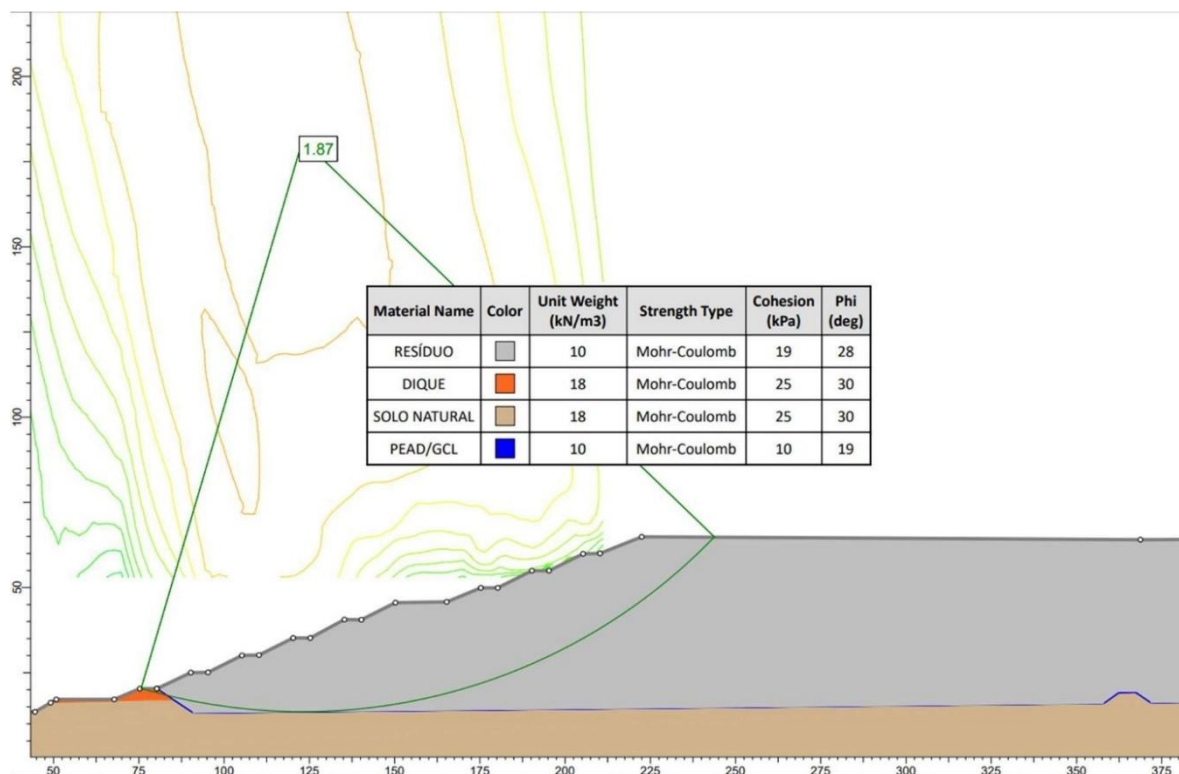


Figura 8. Seção A – Norte – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,87$.

Fonte: Cepollina, 2023

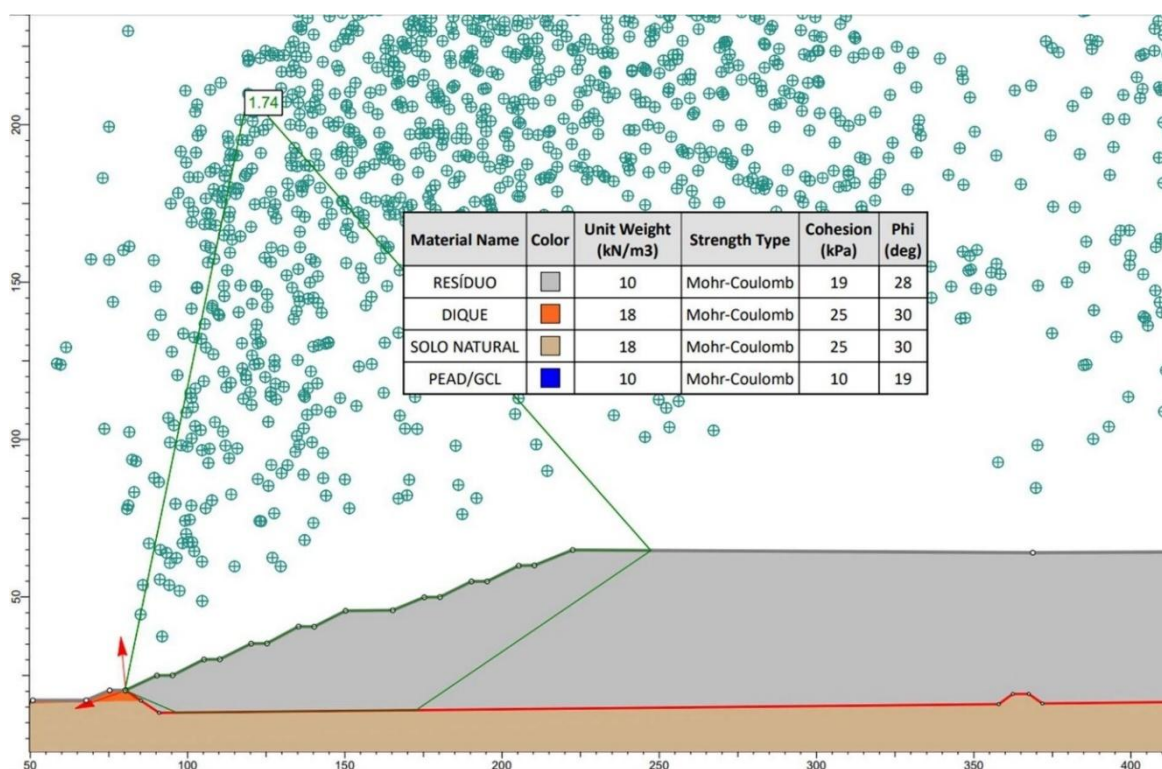


Figura 9. Seção A – Norte – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,74$

Fonte: Cepollina, 2023

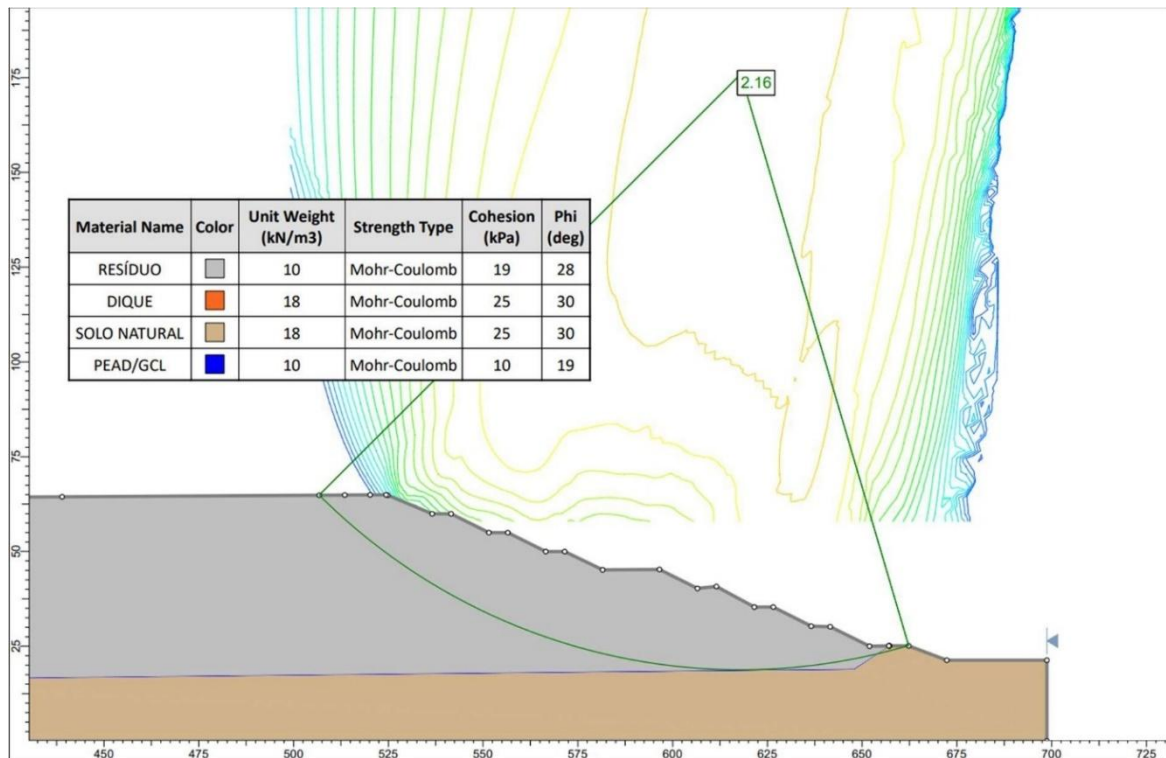


Figura 10. Seção A – Sul – Circular – $ru=0,2$ – $FS=2,16$.

Fonte: Cepollina, 2023

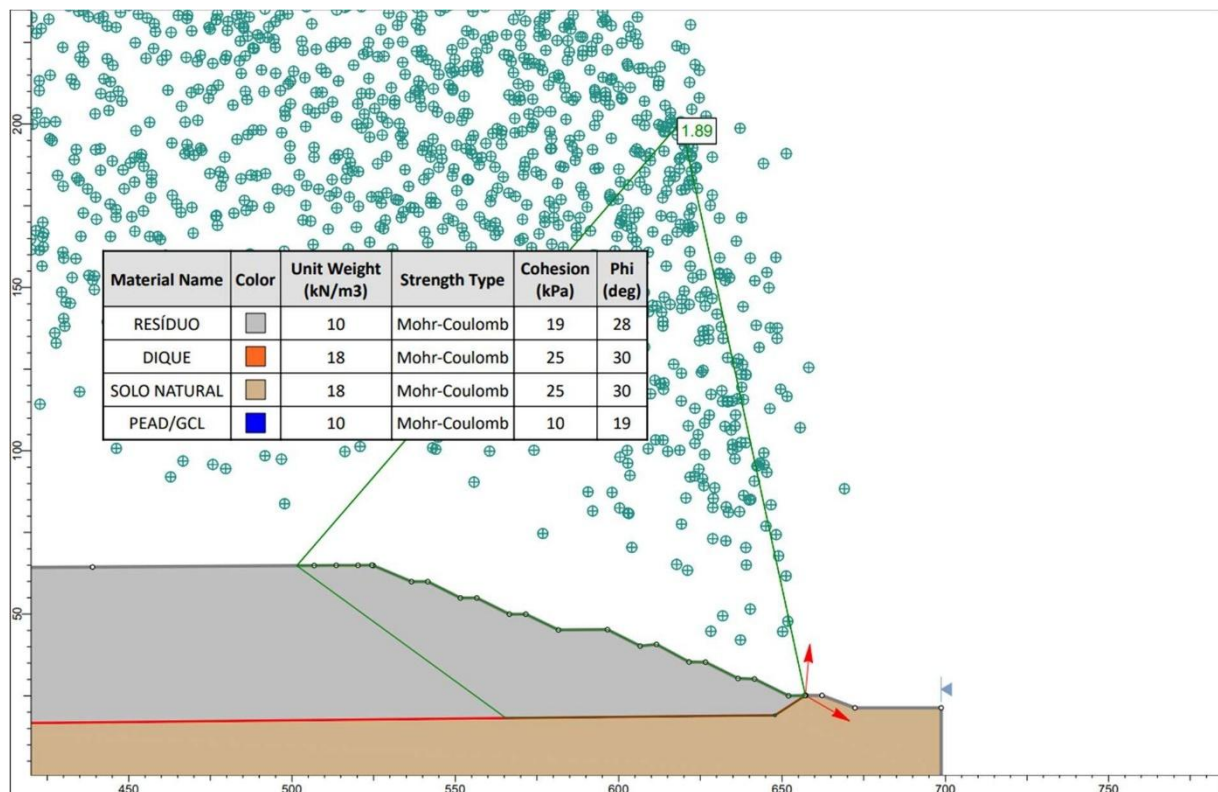


Figura 11. Seção A – Sul – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,89$.

Fonte: Cepollina, 2023

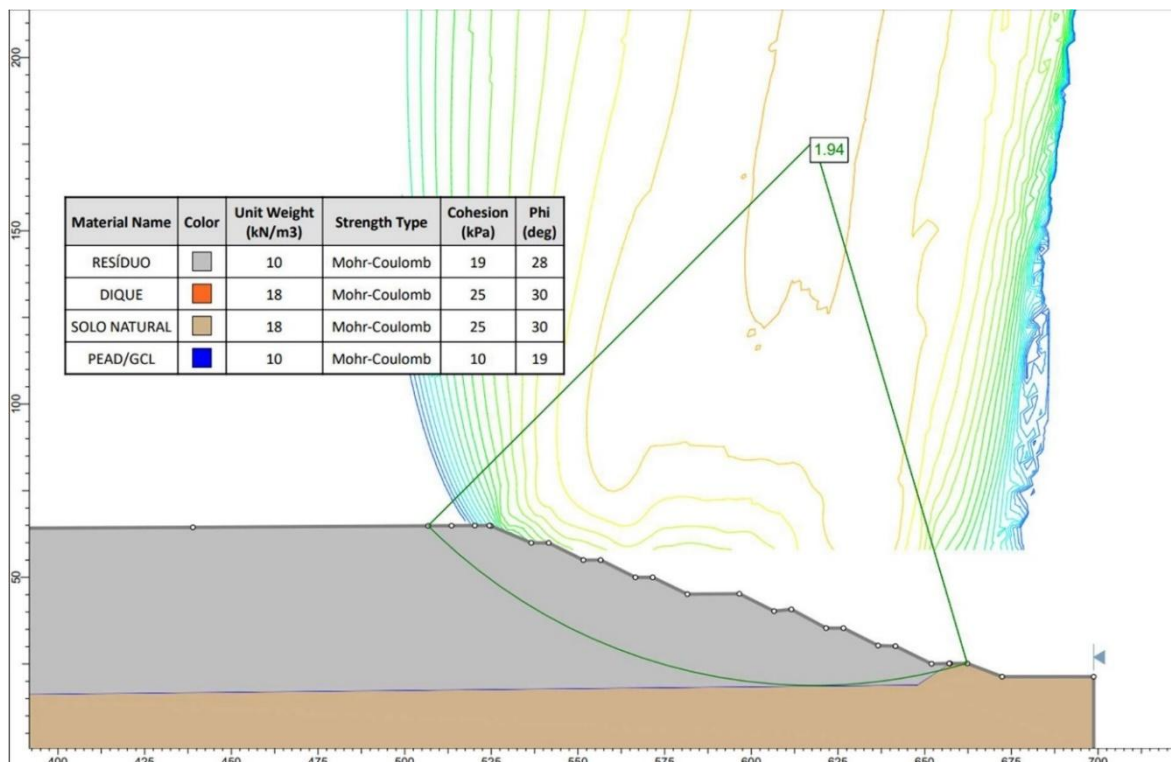


Figura 12. Seção A – Sul – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,94$

Fonte: Cepollina, 2023

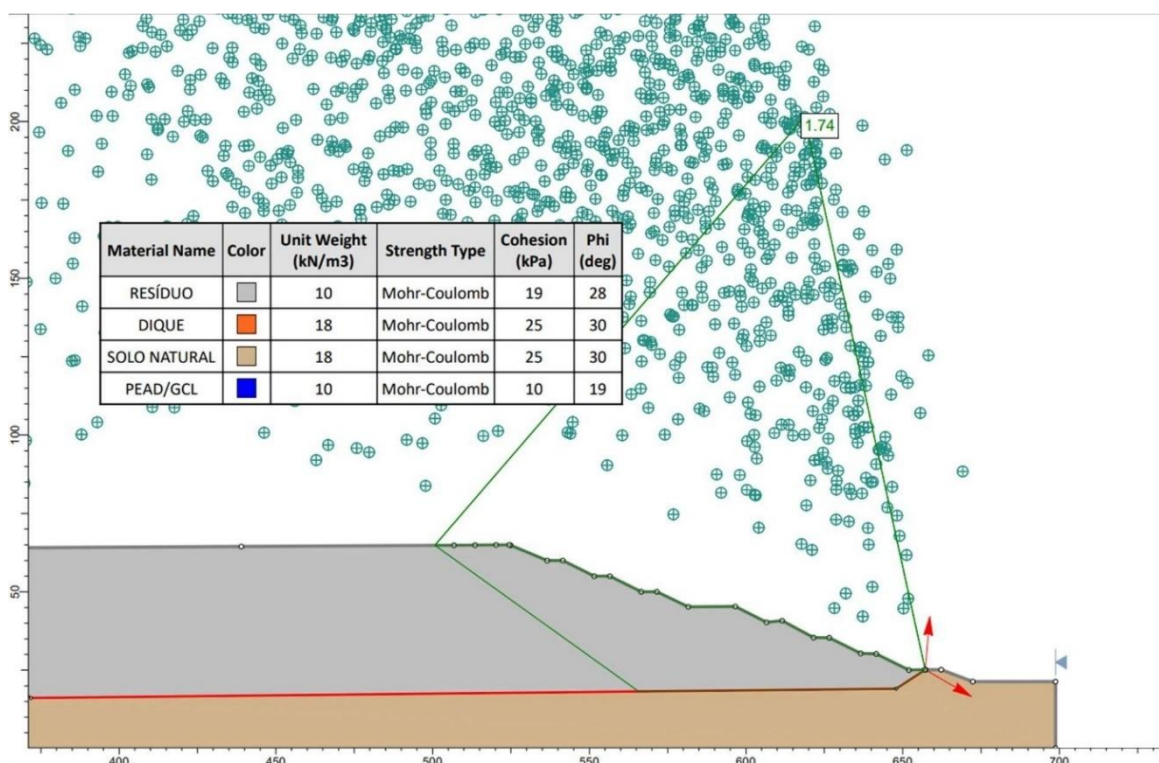


Figura 13. Seção A – Sul – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,74$.

Fonte: Cepollina, 2023

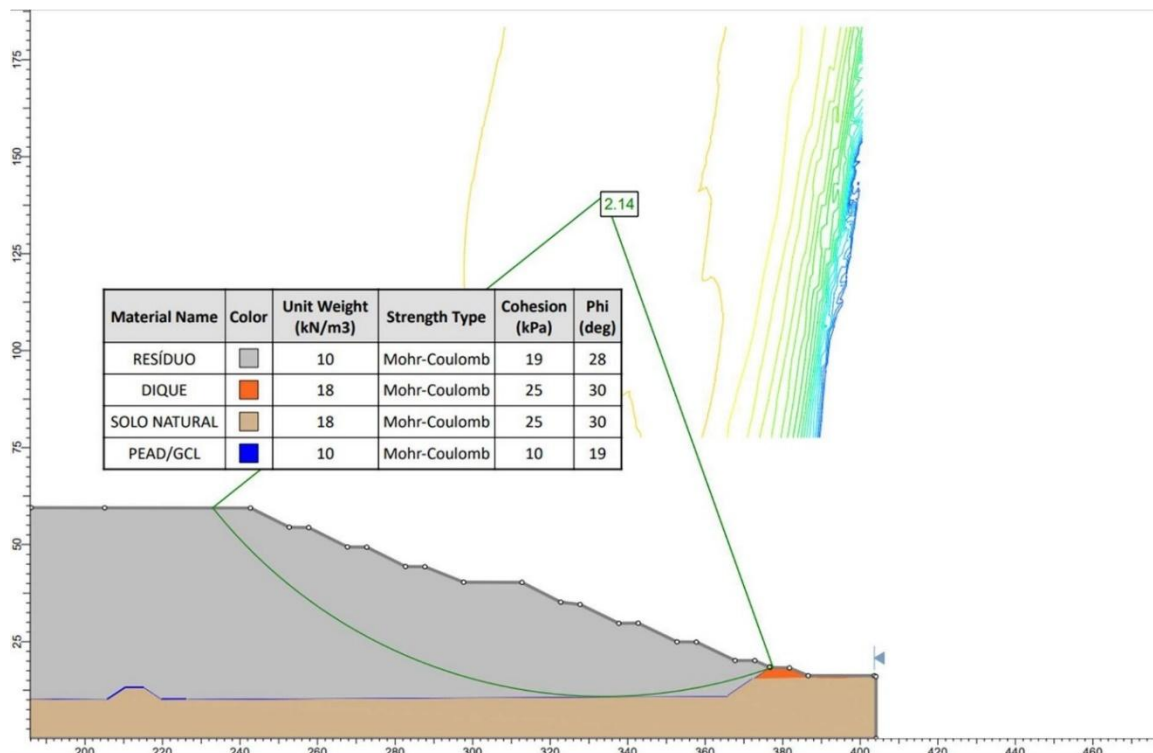


Figura 14. Seção H – Leste – Circular – $ru=0,2$ – $FS=2,14$.

Fonte: Cepollina, 2023

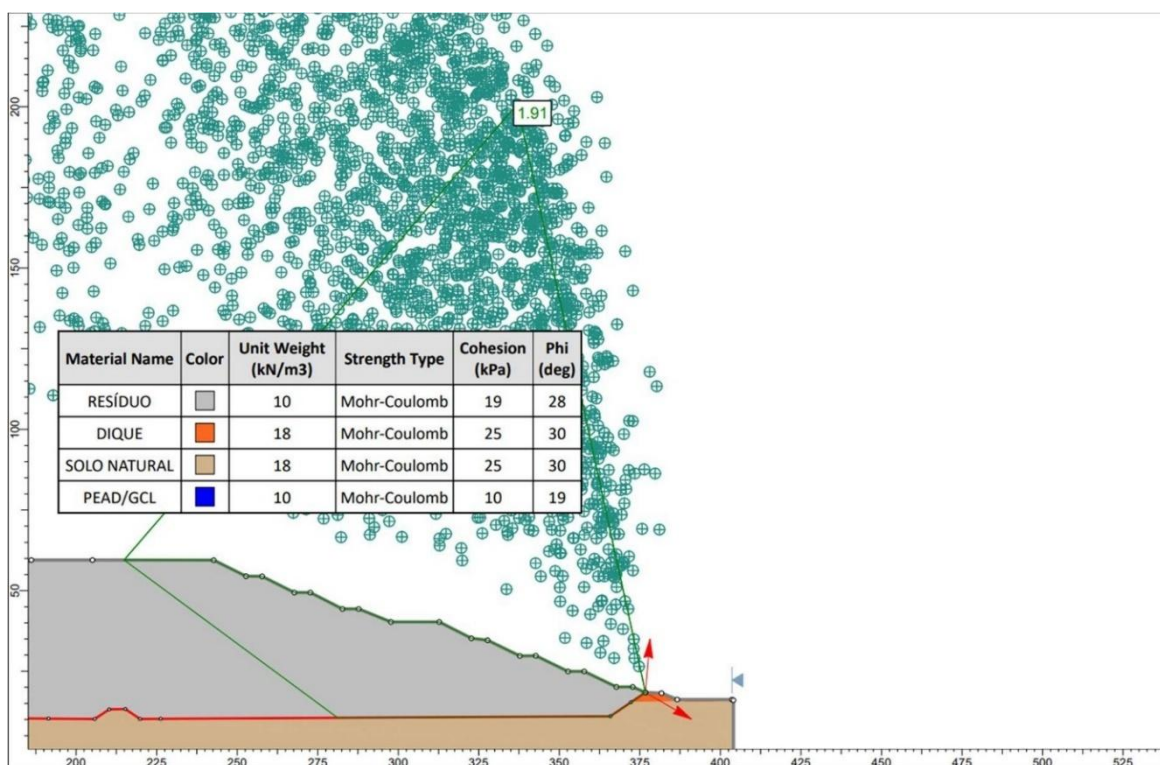


Figura 15. Seção H – Leste – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,91$.

Fonte: Cepollina, 2023

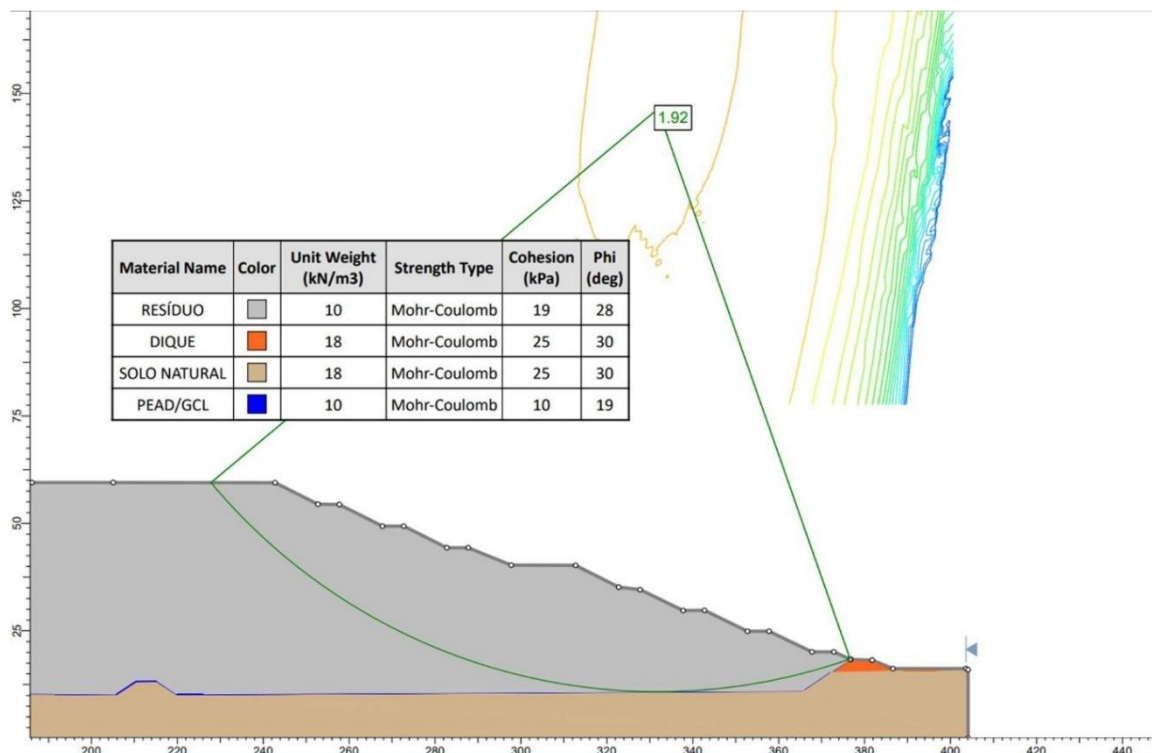


Figura 16. Seção H – Leste – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,92$

Fonte: Cepollina, 2023

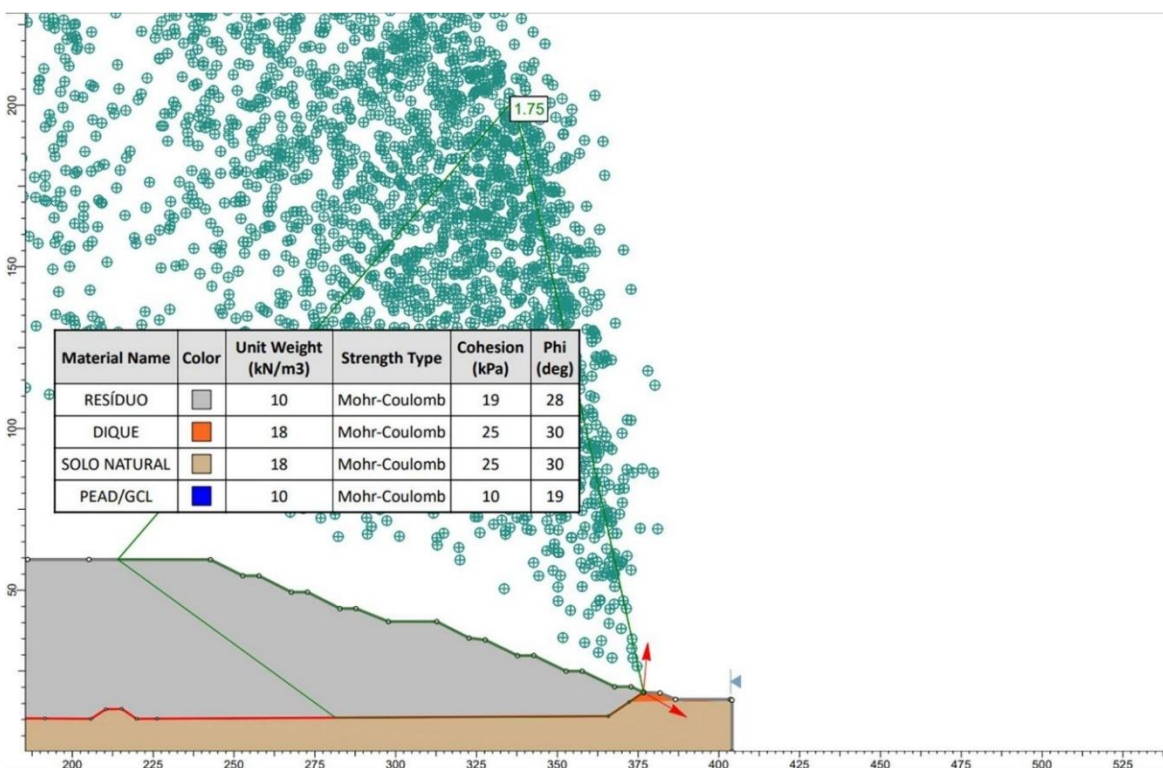


Figura 17. Seção H – Leste – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,75$.

Fonte: Cepollina, 2023

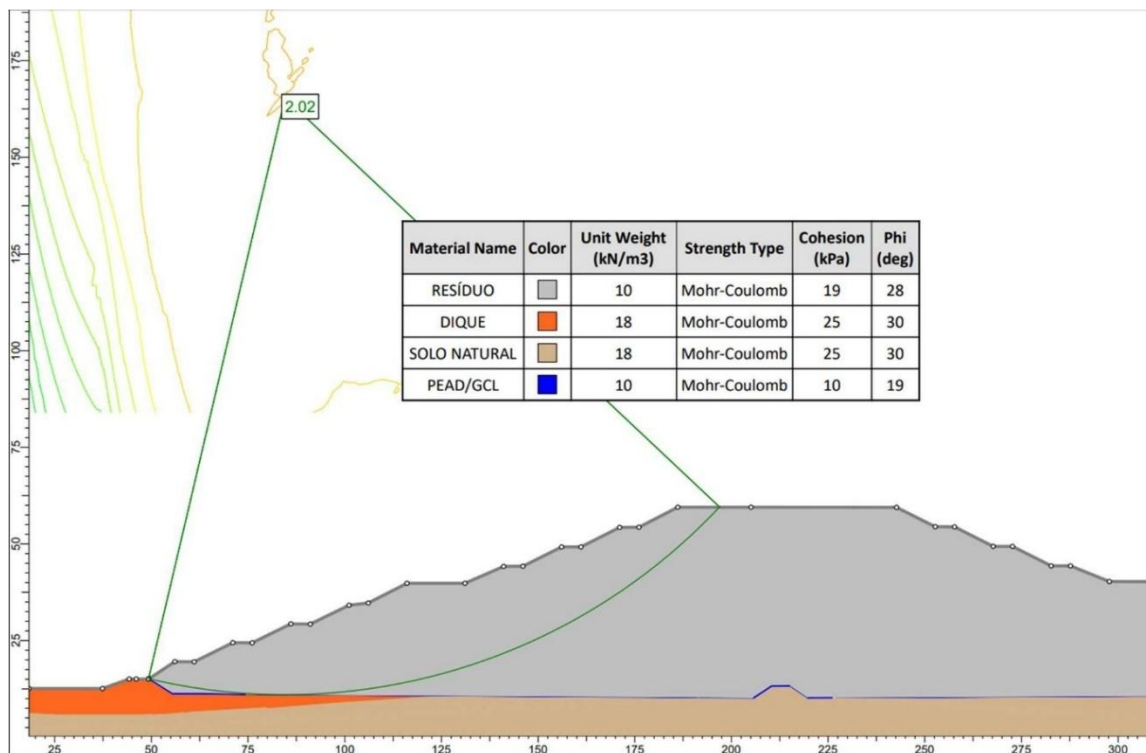


Figura 18. Seção H – Oeste – Circular – $ru=0,2$ – $FS=2,02$

Fonte: Cepollina, 2023

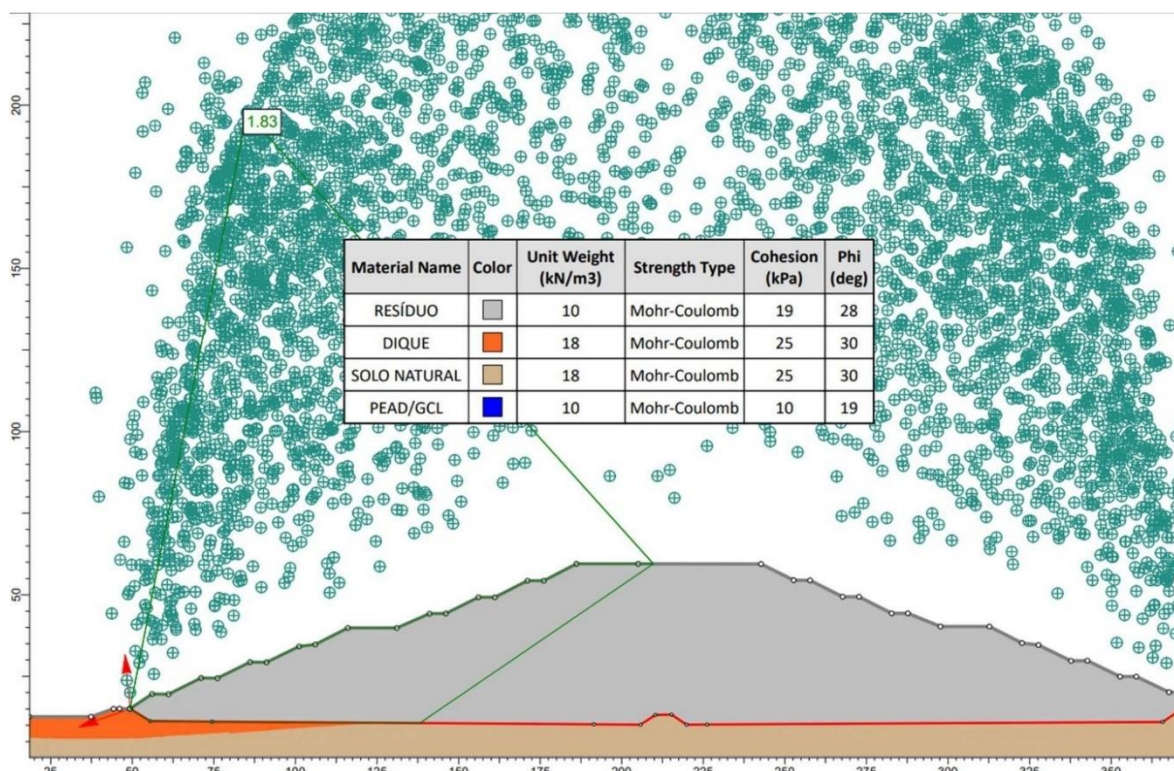


Figura 19. Seção H – Oeste – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,83$.

Fonte: Cepollina, 2023

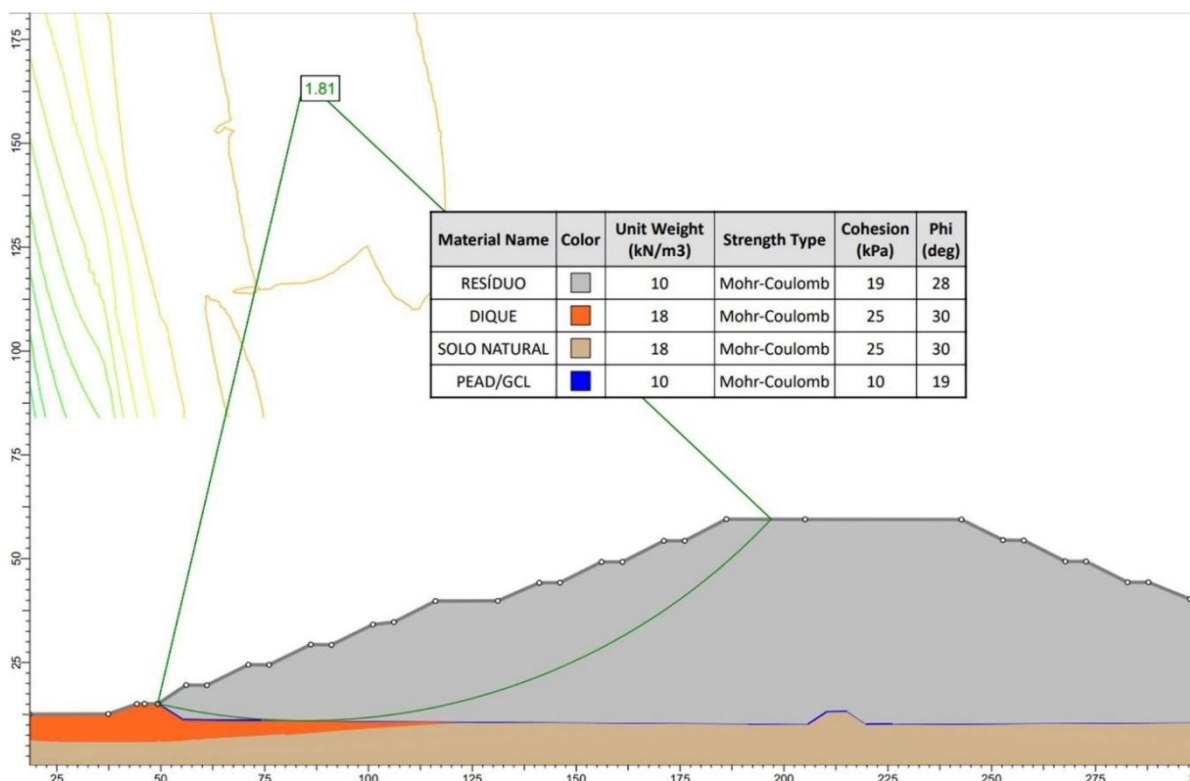


Figura 20. Seção H – Oeste – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,81$

Fonte: Cepollina, 2023

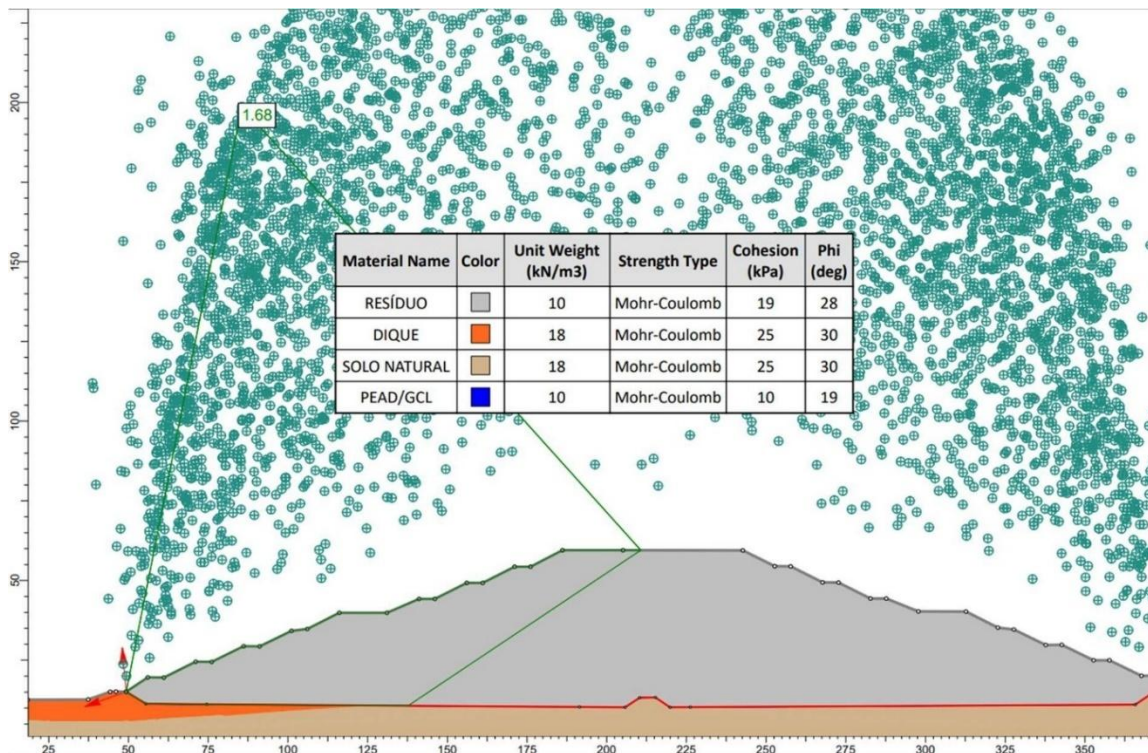


Figura 21. Seção H – Oeste – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,68$.

Fonte: Cepollina, 2023

A Tabela 7 demonstra os resultados obtidos nas análises efetuadas para o AS-2.

Tabela 7. Resumo das análises de estabilidades efetuadas no Aterro (AS-2).

Seção	Face	Etapas	Superfície Circular	Superfície Não Circular
F	Leste – Ru 0,2	AS2	1,87	1,68
F	Leste – Ru 0,3	AS2	1,67	1,52
F	Oeste – Ru 0,2	AS2	1,88	1,67
F	Oeste – Ru 0,3	AS2	1,67	1,52
G	Norte – Ru 0,2	AS2	1,85	1,62
G	Norte – Ru 0,3	AS2	1,65	1,49
G	Sul – Ru 0,2	AS2	1,98	1,79
G	Sul – Ru 0,3	AS2	1,76	1,63

A locação das seções de estabilidade do Aterro 2 (AS-2) e as seções com as superfícies de ruptura e seus respectivos fatores de segurança estão apresentadas nas figuras a seguir.

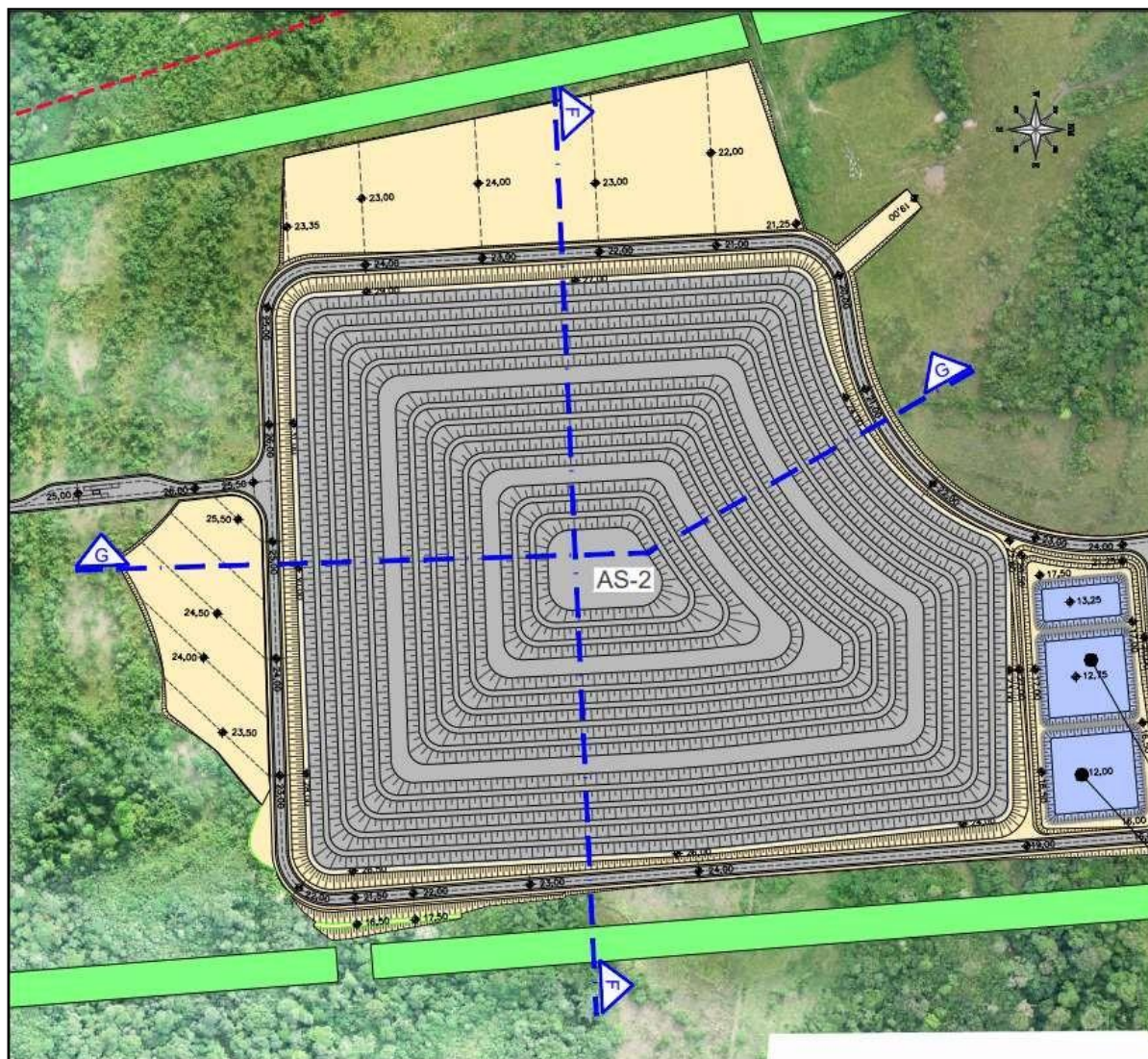


Figura 22. Localização das seções de estabilidade AS-2.

Fonte: Cepollina, 2023

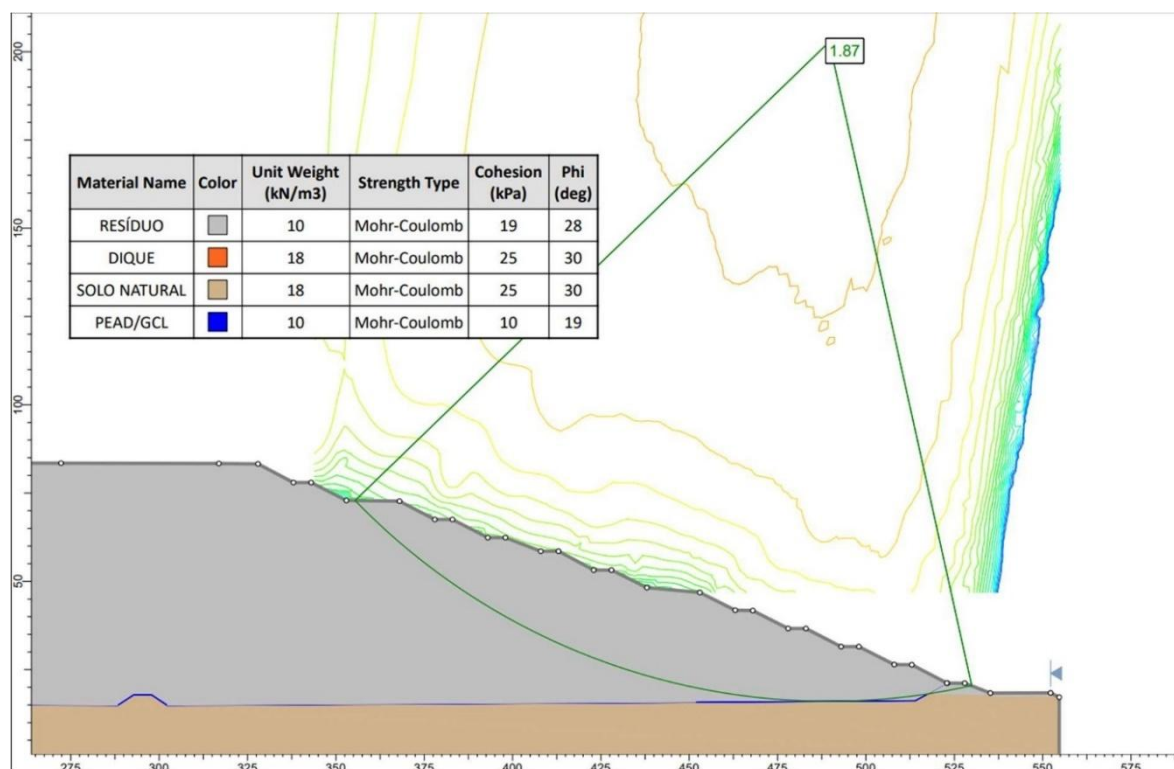


Figura 23. Seção F – Leste – Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,87$

Fonte: Cepollina, 2023

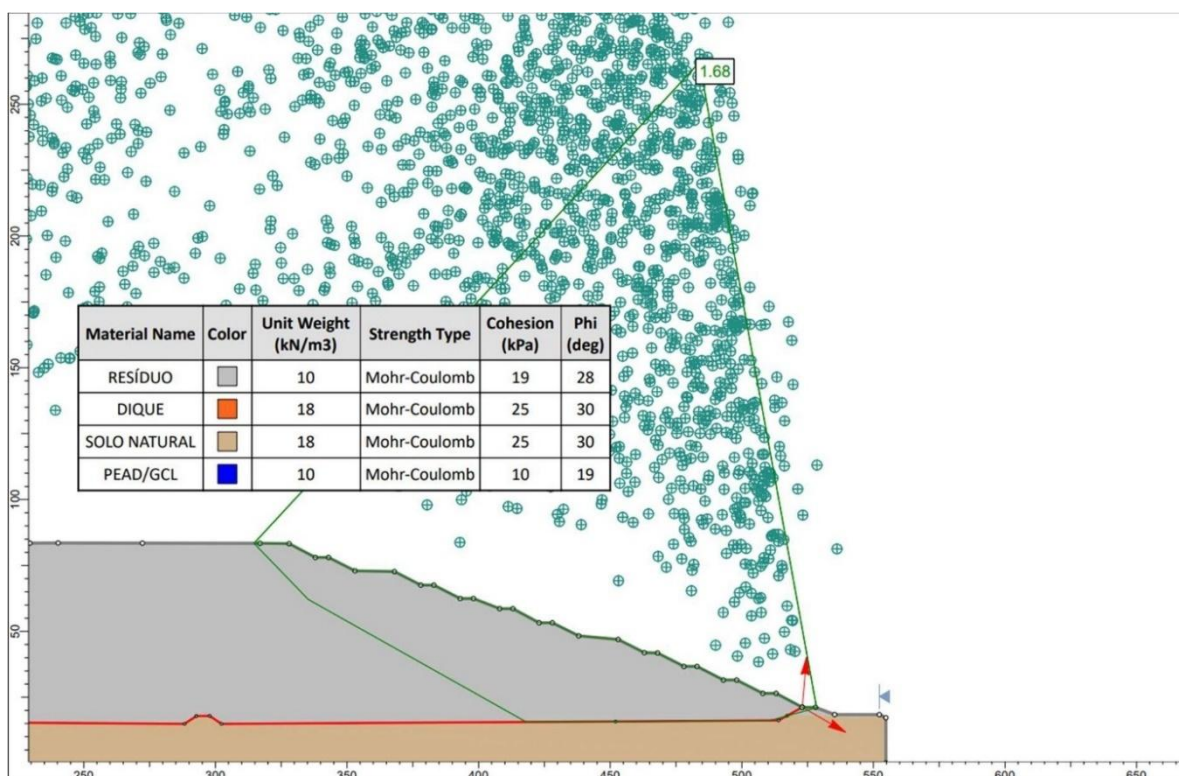


Figura 24. Seção F – Leste – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,68$.

Fonte: Cepollina, 2023

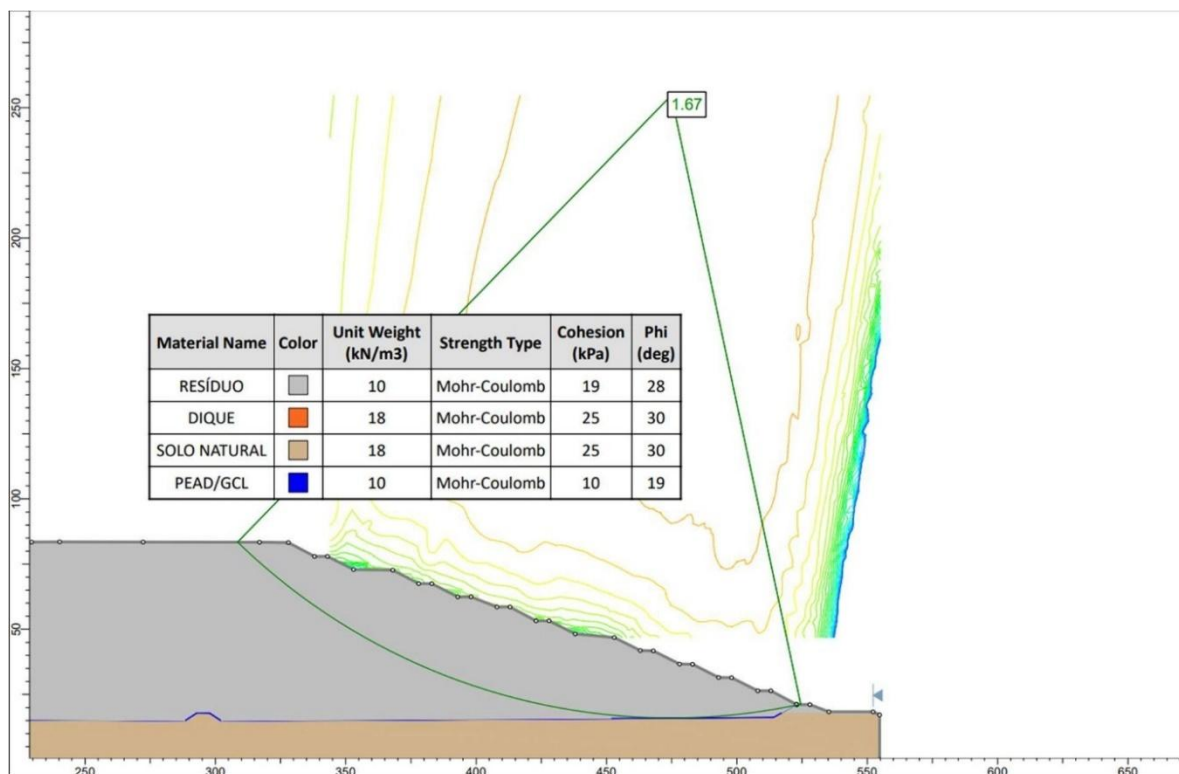


Figura 25. Seção F – Leste – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,67$.
Fonte: Cepollina, 2023

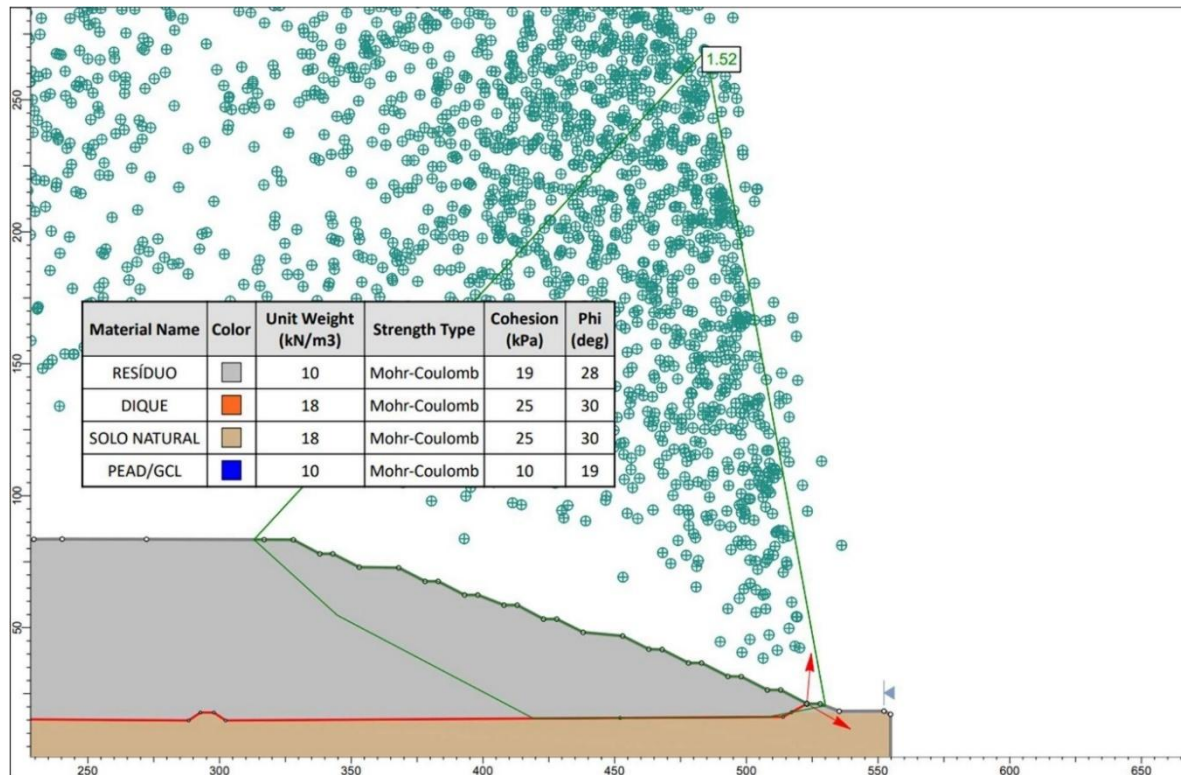


Figura 26. Seção F – Leste – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,52$.
Fonte: Cepollina, 2023

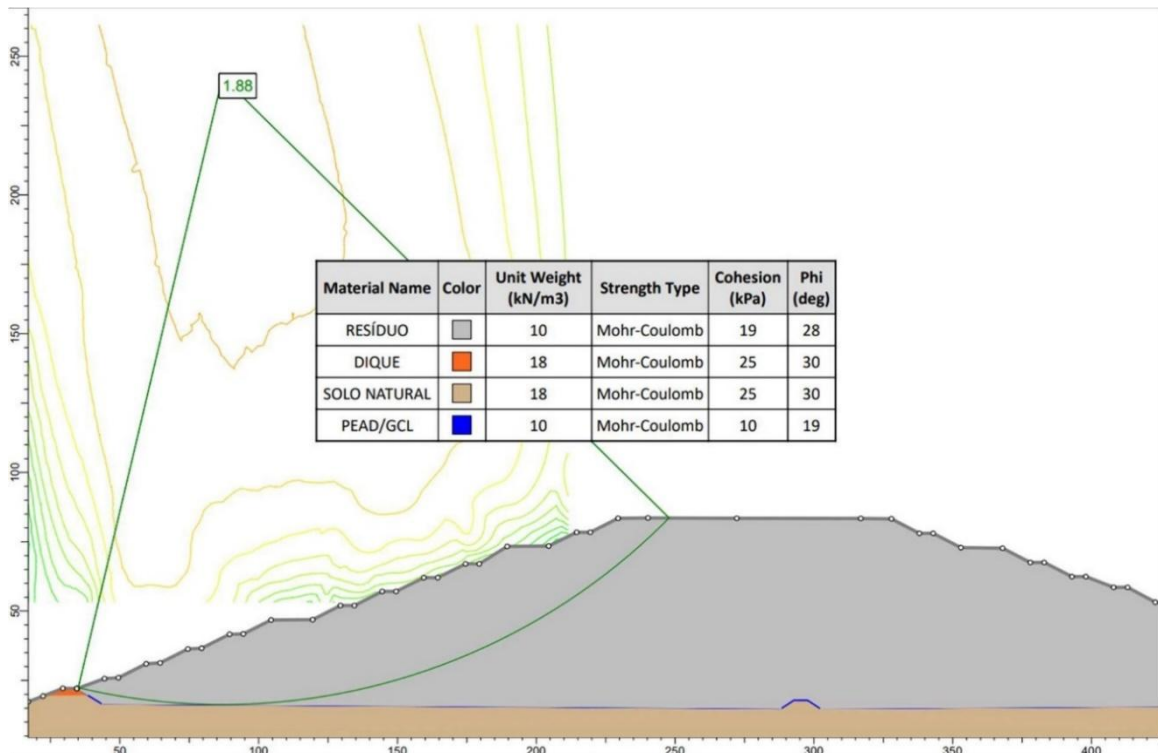


Figura 27. Seção F – Oeste – Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,88$.

Fonte: Cepollina, 2023

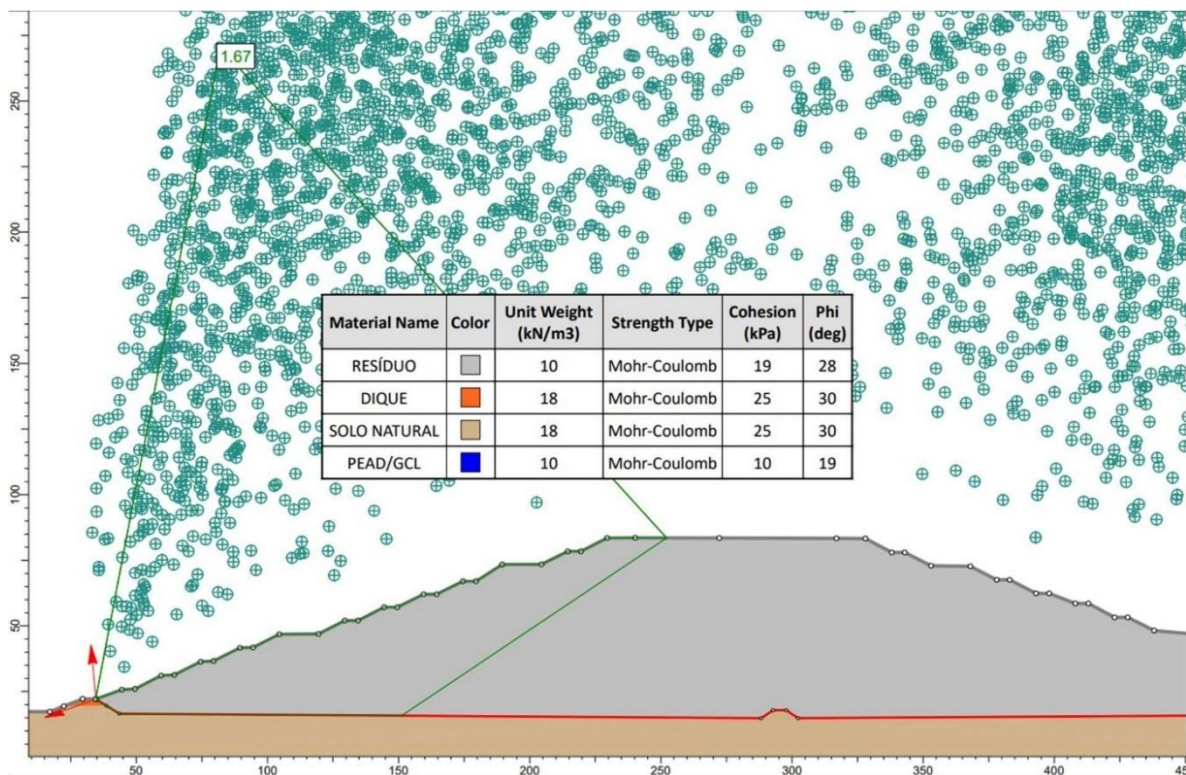


Figura 28. Seção F – Oeste – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,67$.

Fonte: Cepollina, 2023

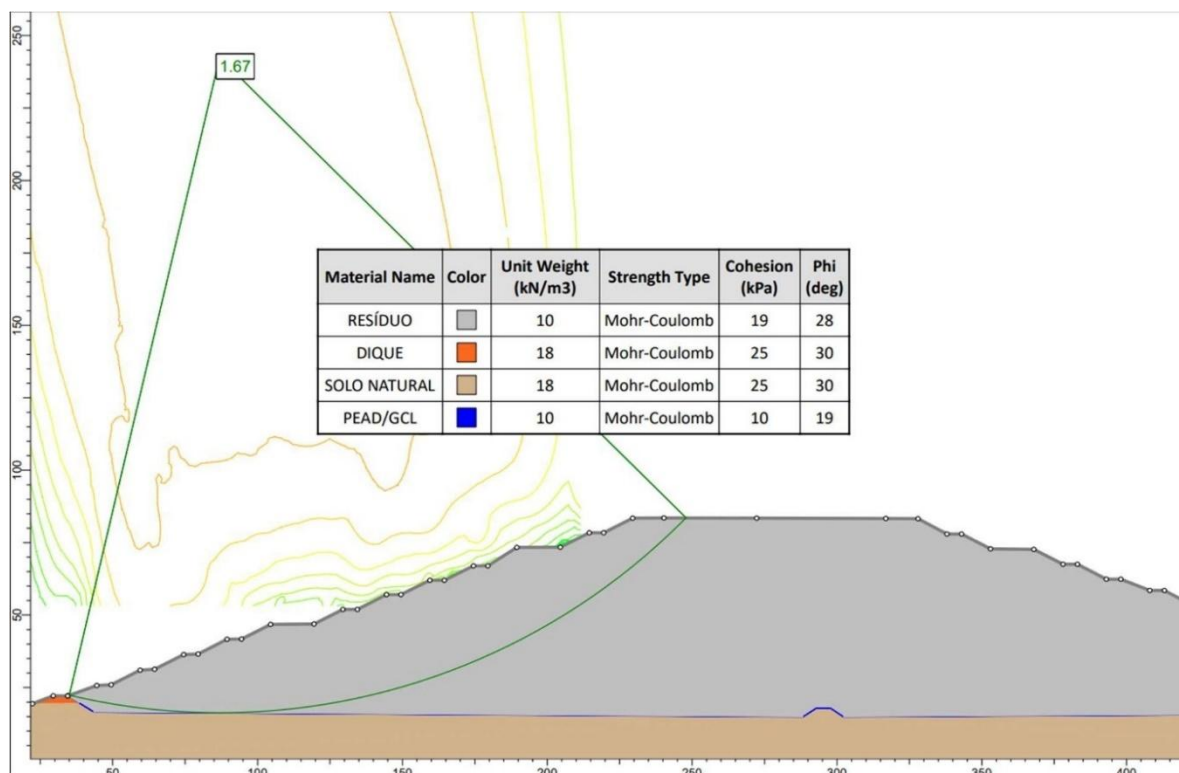


Figura 29. Seção F – Oeste – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,67$

Fonte: Cepollina, 2023

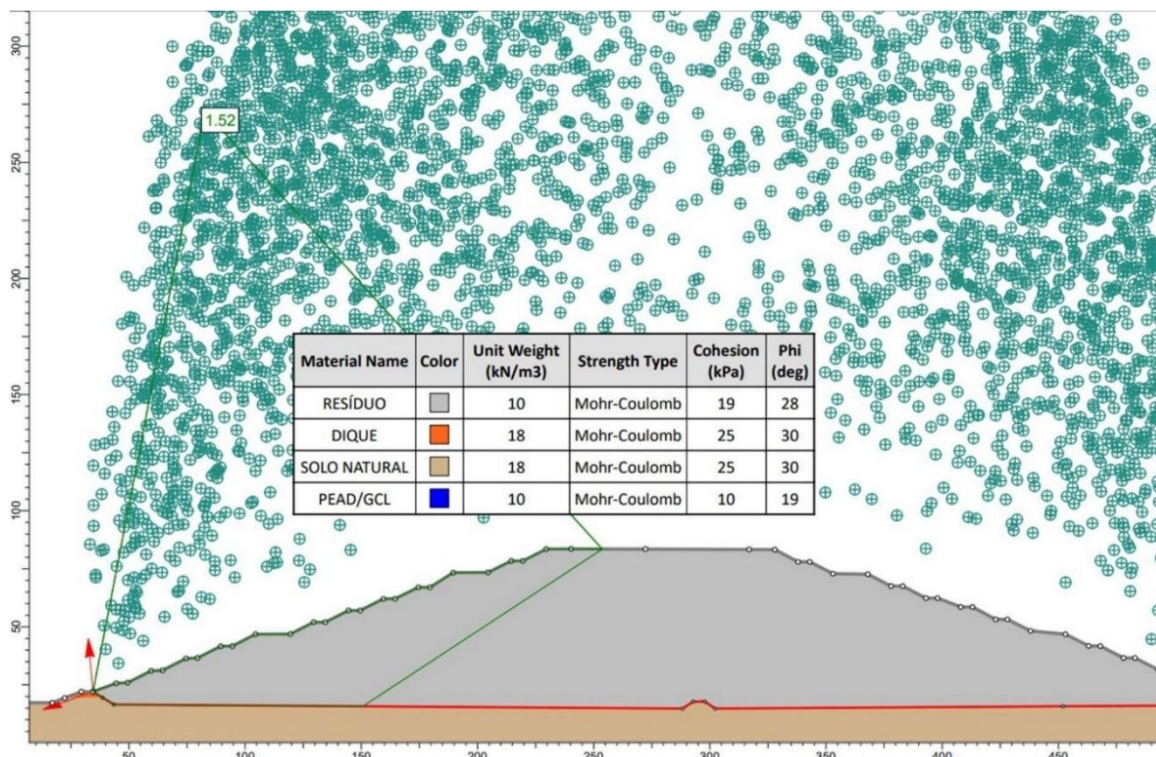


Figura 30. Seção F – Oeste – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,52$

Fonte: Cepollina, 2023

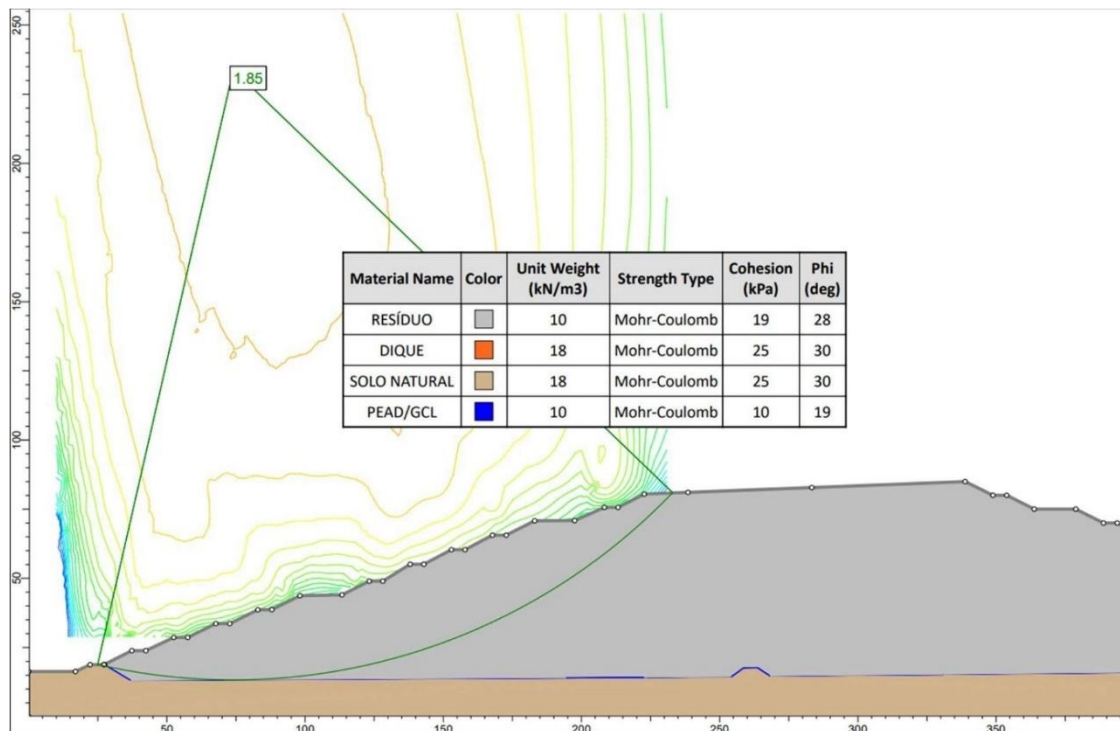


Figura 31. Seção G – Norte – Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,85$.

Fonte: Cepollina, 2023

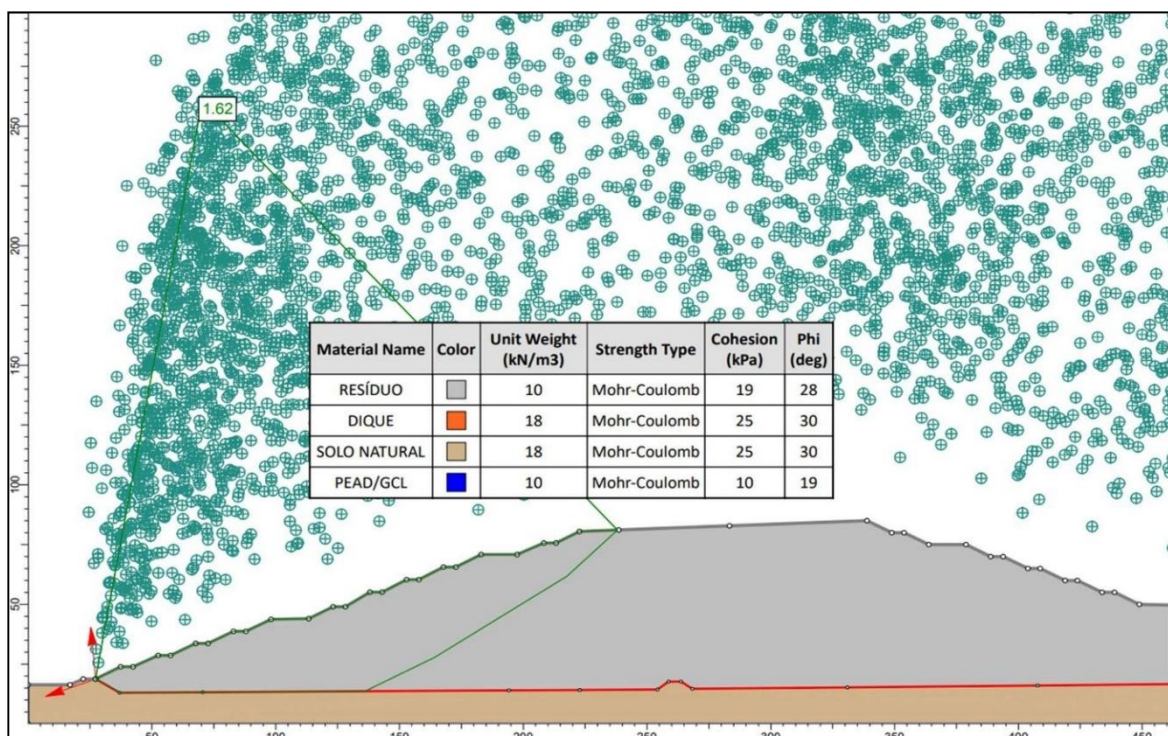


Figura 32. Seção G – Norte – Não Circular – $ru=0,2$ – $FS=1,62$.

Fonte: Cepollina, 2023

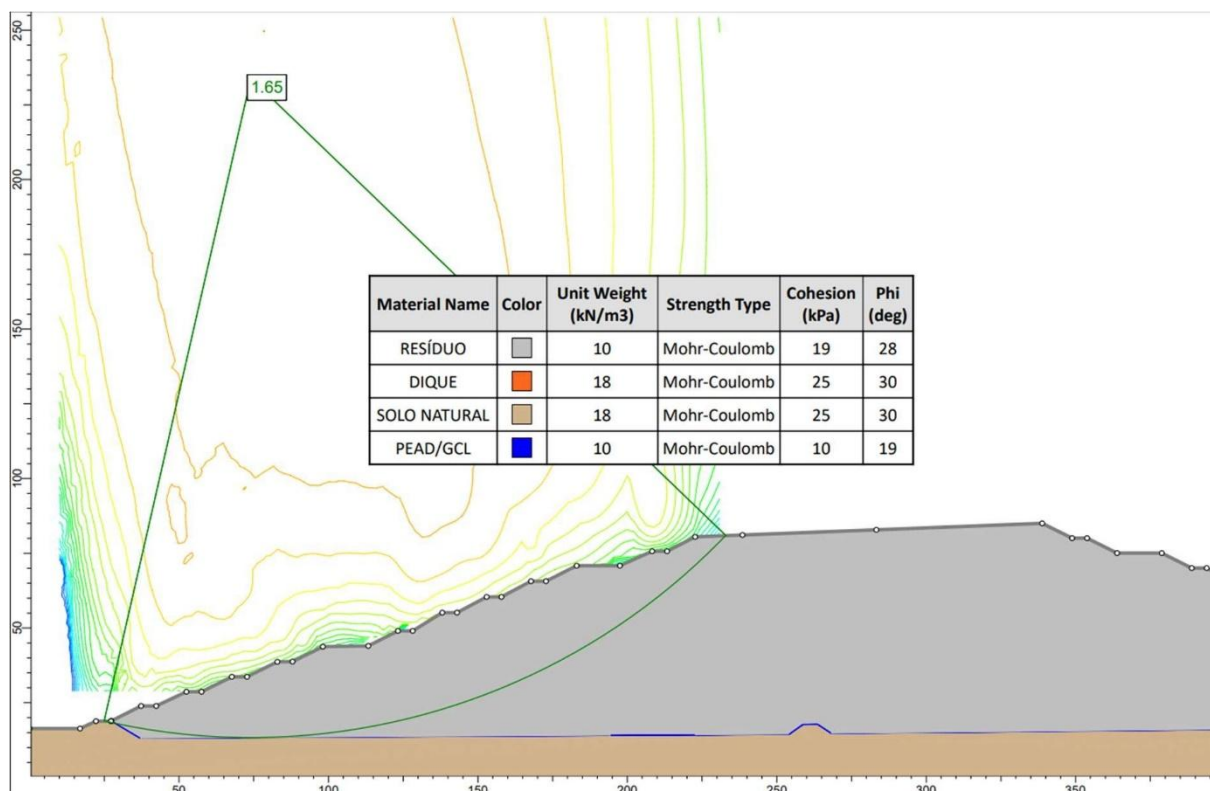


Figura 33. Seção G – Norte – Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,65$.

Fonte: Cepollina, 2023

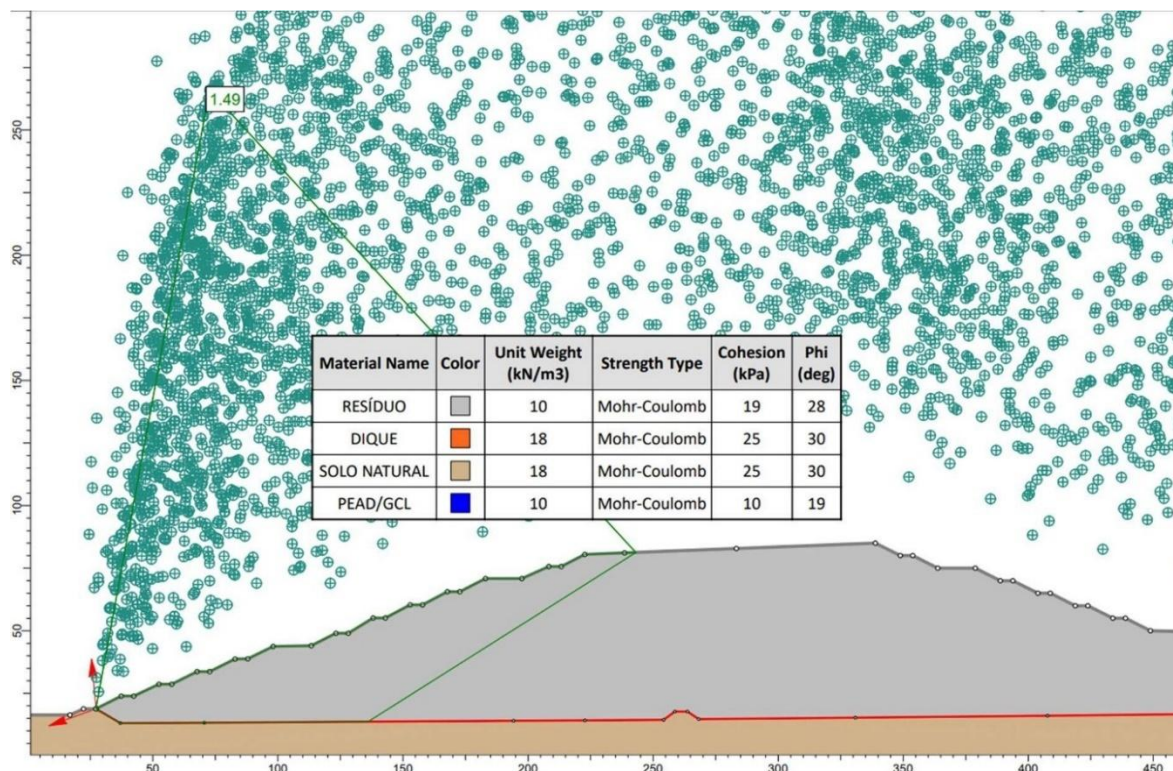


Figura 34. Seção G – Norte – Não Circular – $ru=0,3$ – $FS=1,49$.

Fonte: Cepollina, 2023

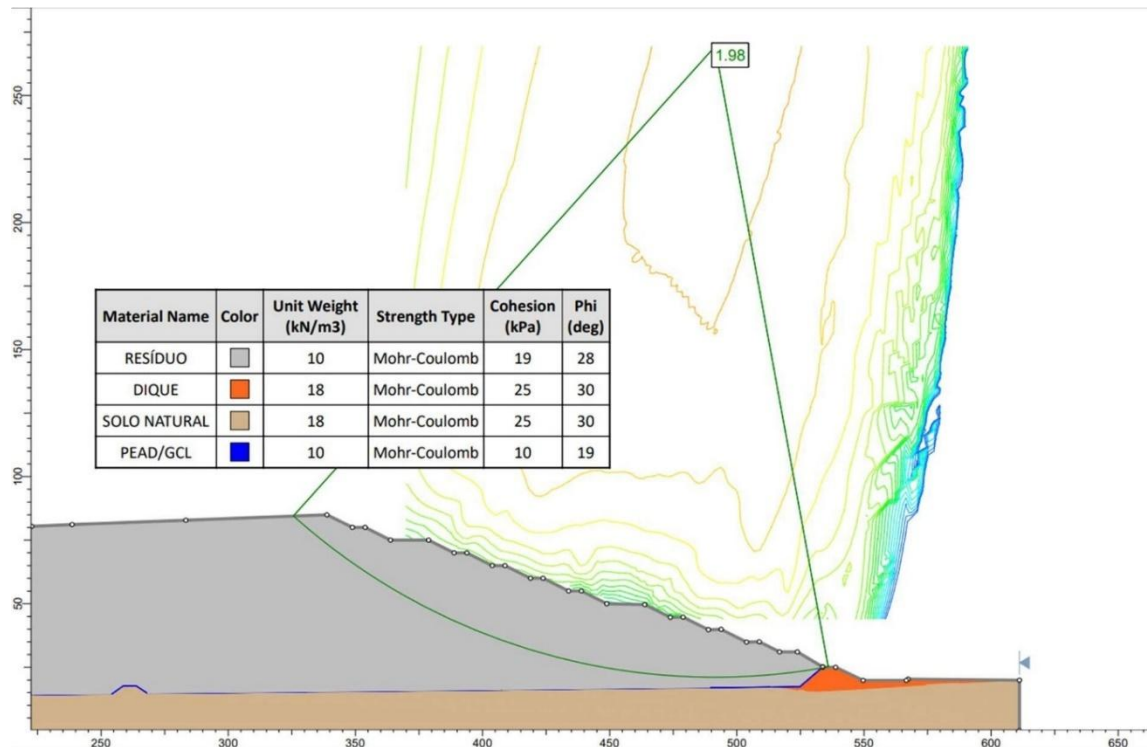


Figura 35. Seção G – Sul – Circular – ru=0,2 – FS=1,98.

Fonte: Cepollina, 2023

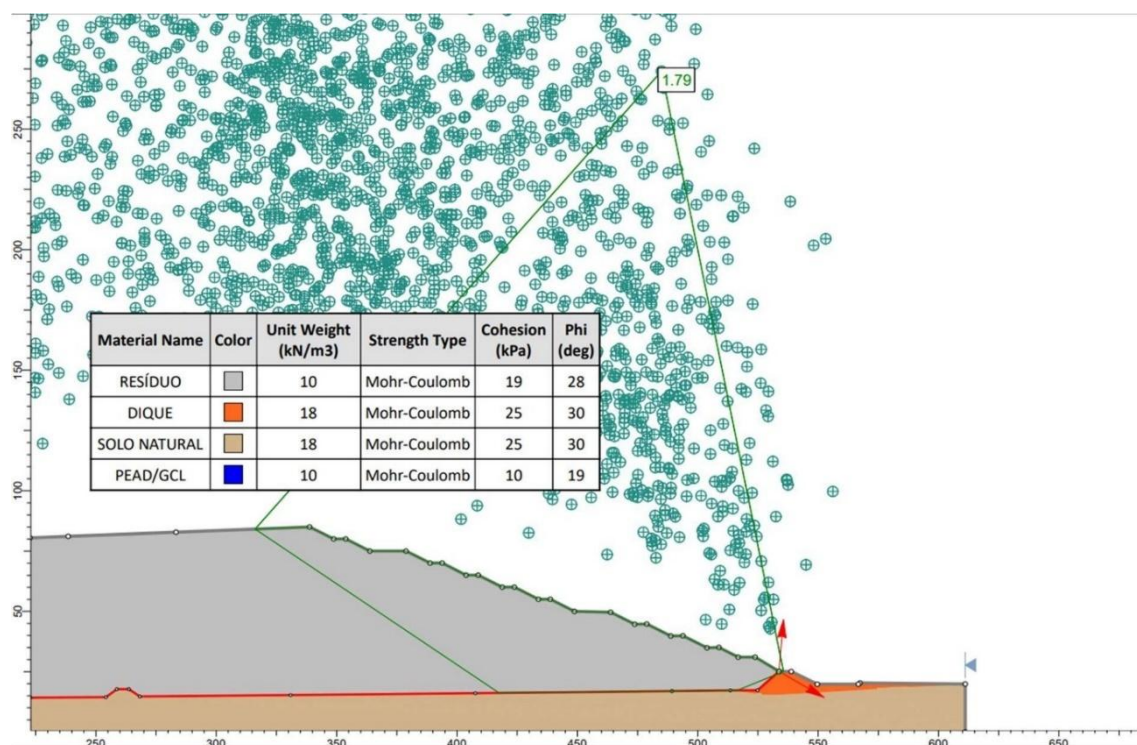


Figura 36. Seção G – Sul – Não Circular – ru=0,2 – FS=1,79.

Fonte: Cepollina, 2023

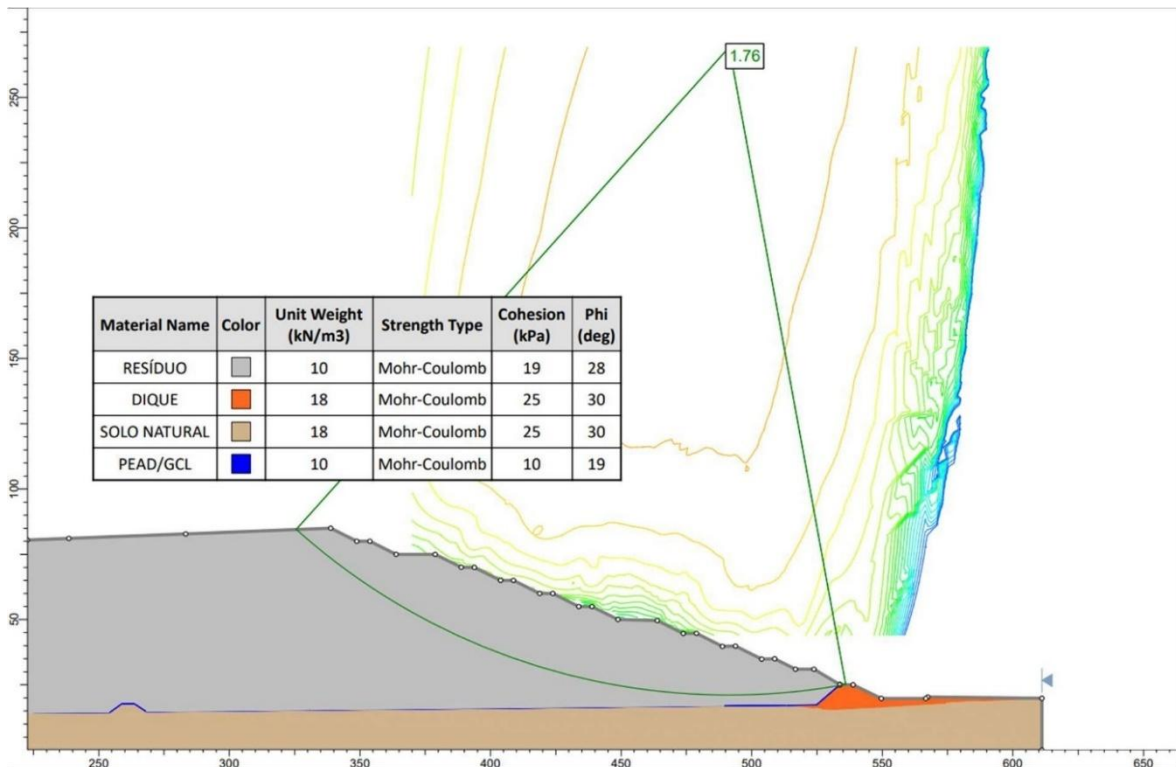


Figura 37. Seção G – Sul – Circular – ru=0,3 – FS=1,76.

Fonte: Cepollina, 2023

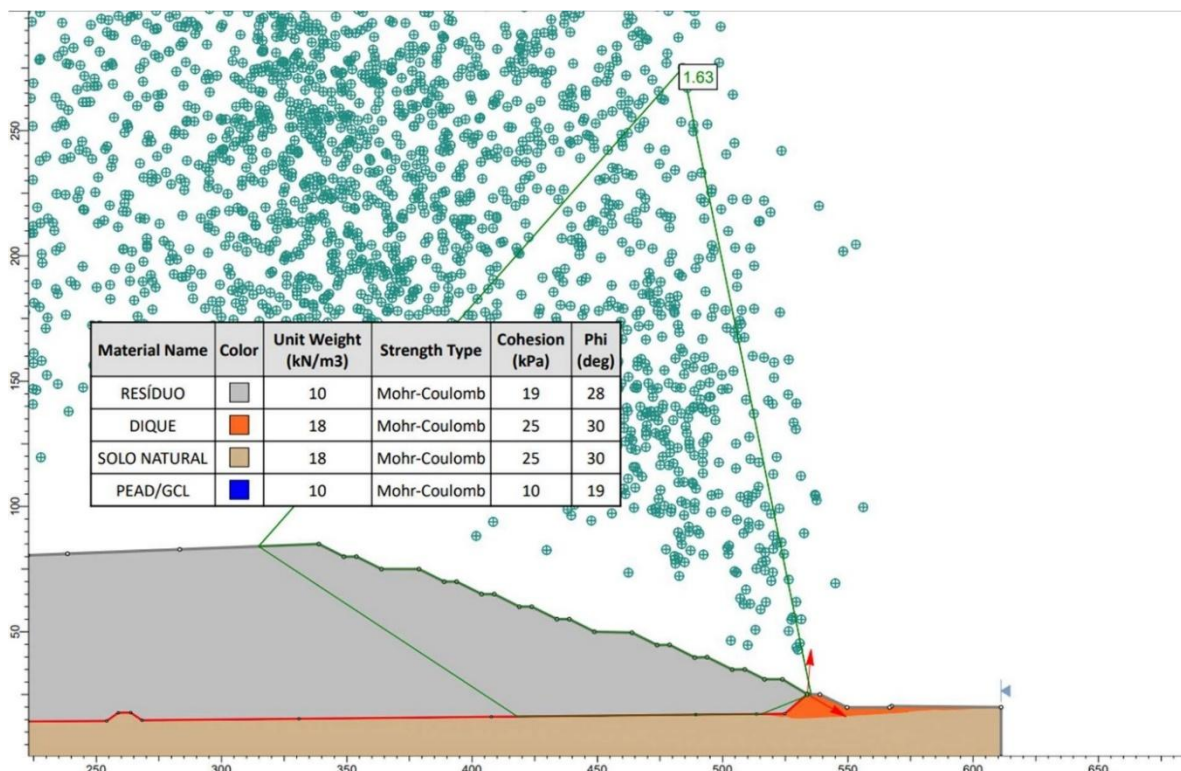


Figura 38. Seção G – Sul – Não Circular – ru=0,3 – FS=1,63.

Fonte: Cepollina, 2023

As análises para as condições operacionais dos Aterro AS-1 e AS-2 apontam fatores de Segurança da ordem de 1,68 a 2,16 e de 1,49 a 1,98, respectivamente, sendo satisfatórios, indicando uma condição, entretanto, a ser rigorosamente avaliada ao longo de toda a operação e mesmo após o encerramento a partir do monitoramento geotécnico contínuo.

3.4.2 FASE DE IMPLANTAÇÃO DA UVS BUJARU

A fase de desenvolvimento do projeto básico do empreendimento foi elaborada de acordo com os seguintes critérios:

- Promover a menor intervenção possível no terreno natural, evitando grandes movimentos de terra e aproveitando o solo argiloso existente, que já apresenta baixa permeabilidade “in natura”;
- Configurar a geometria do aterro, garantindo a sua estabilidade geotécnica, eliminando eventuais riscos de deslizamento;
- Dotar o empreendimento de dispositivos e sistemas que previnam e evitem qualquer tipo de contaminação de solo e águas superficiais e subterrâneas;
- Utilizar equipamentos e materiais com eficiência já comprovada em outros empreendimentos de características similares, garantindo-se a segurança ao meio ambiente e aos funcionários diretamente envolvidos nas atividades; e
- Utilizar técnicas operacionais seguras, promovendo a boa compactação dos resíduos e garantindo também a maior vida útil possível para o empreendimento.
- Garantir o isolamento da área em implantação a partir da manutenção da barreira vegetal naturalmente existente no local de forma a trazer uma harmonia paisagista e redução incomodos.

3.4.2.1 Serviços de Terraplenagem, Supressão e Limpeza de Camada Vegetal

Os serviços preliminares de terraplenagem constituem o conjunto de operações executadas nas áreas destinadas à implantação do empreendimento, objetivando a remoção das obstruções naturais ou artificiais, porventura existentes, tais como: árvores, arbustos, tocos, raízes, matacões, camada superior do solo com materiais orgânicos e resíduos vegetais, cercas, entulhos, além de qualquer outro considerado impeditivo à implantação do empreendimento. São considerados serviços preliminares: supressão vegetal, destocamento e limpeza do terreno.

Todos os serviços serão procedidos de forma compartimentada e sequencial para cada fase de avanço da UVS Bujaru.

Nenhum movimento de terra pode ser iniciado enquanto as operações de desmatamento, destocamento e limpeza, nas áreas devidas, não tenham sido totalmente concluídas, bem como todas as investigações referentes à arqueologia e patrimônio cultural.

A supressão vegetal compreende no corte e remoção de toda a vegetação, qualquer que seja a sua densidade, desde que obtido a devida autorização de supressão emitida pelos órgãos ambientais competentes.

O corte deve ser iniciado pelas árvores e arbustos de maior porte, quando houver risco de danos a outras árvores, linhas físicas aéreas, cercas ou construções existentes nas imediações, as árvores a serem removidas devem ser amarradas e, se necessário, cortadas em pedaços, a partir do topo.

O destocamento compreende ações de limpeza do terreno para remoção de tocos e raízes, após o serviço de desmatamento na profundidade necessária até o nível do terreno considerado apto para terraplenagem.

Os trabalhos de limpeza serão conduzidos por meio de um trator de esteiras, promovendo a raspagem no solo vegetal numa espessura suficiente para eliminação, além do solo vegetal, de eventuais solos inconsistentes, matéria orgânica e outros materiais eventualmente existentes, dentro dos limites estabelecidos em projeto e autorizados pelo órgão de controle ambiental, também procurando estabelecer uma conformação mais regular da área, de modo a permitir o tráfego de veículos e equipamentos.

Os buracos ou depressões ocasionadas por destocamento devem ser preenchidos com solo local e devidamente compactado.

3.4.2.1.1 Equipamentos

As operações de supressão, destocamento e limpeza devem ser executadas mediante utilização de equipamentos adequados, entre os quais se destacam:

- Serras mecânicas portáteis;
- Tratores de esteiras com lâmina frontal;
- Tratores de pneus com lâmina frontal;
- Escavadeiras Hidráulicas;
- Caminhões carroceria;
- Caminhões basculantes;
- Guinchos;
- Escarificadores;

- Pequenas ferramentas, enxadas, pás, picaretas etc.;
- Caminhões basculantes;
- Pá carregadeiras.

Os equipamentos serão selecionados de acordo com o tipo e densidade da vegetação local a ser removida e complementada com emprego de serviços manuais, caso necessário.

Para os serviços de terraplenagem e instalação das camadas de proteção serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Tratores de esteiras com lâmina frontal;
- Tratores de pneus com lâmina frontal;
- Escavadeiras hidráulicas;
- Caminhões basculantes;
- Caminhões carga seca, carroceria e munk;
- Caminhões pipa;
- Trator agrícola com grade;
- Motoniveladora;
- Rolo compactador liso e pé-de-carneiro;
- Torres de iluminação;
- Carros de apoio;
- Demais equipamentos de construção civil, como bentoneiras e geradores.

Todos os equipamentos serão selecionados de acordo com o volume de solo a ser movimentado e tecnologia a ser implantada também será necessário emprego de serviços manuais, como no momento de confecção de drenagens de biogás e chorume e solda das geomembranas de impermeabilização.

Na primeira etapa de implantação, onde serão construídas as estruturas de apoio e acesso, haverá mais esforços e mobilização, já as implantações de expansão das fases dos aterros sanitários, poderão acontecer em concomitância à operação de uma fase já implantada.

3.4.2.2 Escavações e Aterros com Solos Compactados

Na sequência imediata dos serviços de limpeza do terreno será realizada a escavação da área com a utilização de escavadeira hidráulica e/ou retroescavadeira e por processos manuais, utilizando-se, para tanto, de enxadas, picaretas e pás, também com a utilização de trator de esteiras, sendo que eventuais materiais de segunda categoria, resumindo-se a blocos de rocha, matacões ou parte de solos de alteração de rocha aflorantes, serão

escavados com o auxílio de equipamentos mecânicos, como escavadeira hidráulica, auxiliada eventualmente por rompedores pneumáticos acoplados ao equipamento ou manuais.

As escavações serão executadas respeitando as características geológicas do material escavado, alinhamentos, declividades e taludes previstos em projeto, respeitando-se, particularmente quanto à sua capacidade de suporte lateral, as escavações serão realizadas em talude de modo a garantir a estabilidade das paredes de escavação.

As superfícies serão escavadas de modo a apresentar boa aparência e resultando em declividades adequadas para o escoamento de águas pluviais e seguras contra processos erosivos e de instabilidades. O controle geométrico dos volumes de corte será verificado por meio de aparelhos topográficos, observando os alinhamentos, cotas e inclinações de taludes previamente determinados.

As regiões de aterro com solo compactado deverão ser executadas com a compactação do solo em camadas lançadas com espessura da ordem de 0,20 m, até que atinja a cota de projeto e garantindo grau de compactação $CG \geq 98\%$ do Proctor Normal. A execução das camadas do aterro na área da base do maciço sanitário deverá ser acompanhada por um controle tecnológico a fim de assegurar a qualidade dos serviços.

Os aterros com solo compactado nas regiões de conformação de taludes, deverão ser executados com sobre largura suficiente para garantir o grau de compactação de $GC \geq 98\%$ do Proctor Normal, sendo posteriormente escavado para a conformação da geometria final dos taludes, com suas respectivas inclinações, conforme indicadas no projeto.

Vale salientar que a terraplenagem da área de disposição será executada de forma gradual, de acordo com as etapas de implantação e operação preconizadas, minimizando a superfície de solo exposto às intempéries e que deverá ser executado a troca de solos caso seja constatado a existência de eventuais bolsões de materiais inconsistentes.

Caso ocorra a escavação de um volume de solos que não tenha uma utilização imediata, deverá ser destinado à área de estocagem temporária adequada no interior do próprio empreendimento, sempre que possível nas proximidades das frentes de implantação do aterro e disposição dos resíduos. Neste armazenamento, declividades serão concebidas para o escoamento superficial de águas pluviais, podendo ser executadas pequenas leiras de solo compactado (para o desvio de águas) e providenciado o plantio de grama ou a utilização de lonas plásticas para a cobertura do material, a depender das necessidades que forem constatadas.

3.4.2.2.1 Balanço de Massas

Para a implantação dos Aterros AS-1 e AS-2 será executada escavação de solos de cerca de 1.244.858 m³ e 1.773.377 m³, respectivamente, que serão utilizados para o aterro de regularização da base, implantação das camadas de proteção ambiental na base do aterro, execução dos diques de disparo e diques intermediários, plataforma para implantação das lagoas de chorume e da ETE, plataformas para implantação de novas tecnologias, para a área das Unidades Administrativas e de Apoio, para acessos, como material de cobertura dos resíduos, bem como demais obras no decorrer das operações da UVS Bujaru.

A Tabela 8 apresentada a seguir resume o balanço de massas pretendido para a UVS Bujaru.

Tabela 8. Balanço de massas para os Aterros AS-1 e AS-2.

Descrição / Local	Unid.	Corte	Aterro	SALDO
Aterro 1 (AS-1)				
Volume de terraplanagem para implantação dos acessos para AS-1	m ³	113.648	52.240	61.408
Volume de terraplanagem para implantação e dique de disparo do AS-1	m ³	996.493	78.381	918.112
Volume de terraplanagem para execução plataforma da estação de tratamento e lagoas de chorume AS-1	m ³	125.229	21.185	104.044
Volume de aterro de solo argiloso na base AS-1	m ³	0	97.875	97.875
Volume de aterro para proteção mecânica da geomembrana de PEAD, texturizada AS-1	m ³	0	66.263	66.263
Volume de solo de cobertura dos resíduos AS-1	m ³	0	752.998	752.998
Sub-Total AS-1	m ³	1.235.370	1.068.942	166.428
Aterro 2 (AS-2)				
Volume de terraplanagem para implantação dos acessos para AS-2	m ³	81.511	44.272	37.239
Volume de terraplanagem para implantação e dique de disparo do AS-2	m ³	1.001.984	304.955	697.029
Volume de terraplanagem para execução plataforma das lagoas de chorume AS-2	m ³	198.352	0	198.352
Volume de aterro de solo argiloso na base AS-2	m ³	0	139.125	139.125
Volume de aterro para proteção mecânica da geomembrana de PEAD, texturizada AS-2	m ³	0	93.945	93.945
Volume de solo de cobertura dos resíduos AS-2	m ³	0	1.397.464	1.397.464
Sub-Total AS-2	m ³	1.281.846	1.979.760	-697.914
Unidades de Apoio e Tratamento de Resíduos				
Volume de terraplanagem para execução da plataforma das unidades administrativas, refeitório, vestiários e Unidades de apoio	m ³	9.488	8.760	728
Volume de terraplanagem para execução da plataforma do Biogás, termoeletrica e Rss	m ³	44.497	14.378	30.119
Volume de terraplanagem para execução da	m ³	29.745	9.386	20.359

Descrição / Local	Unid.	Corte	Aterro	SALDO
plataforma de Novas tecnologias (Área 1) e Central mecânizada				
Volume de terraplanagem para execução da plataforma de Novas tecnologias (Área 2)	m³	417.289	2.024	415.265
Sub-Total Unidades Complementares	m³	501.019	34.549	466.470
Balanço de Solo				
Deficit de solo para operação da Etapa 5 do AS-2	m³	65.016	0	65.016
Sub-Total Unidades Complementares	m³	65.016	0	65.016
Total Geral	m³	3.018.235	3.083.251	0

Através do balanço de massas para a implantação da UVS Bujaru, pode-se concluir que o empreendimento é autossuficiente no quesito de solos nas fases de implantação e operação.

3.4.2.3 Implantação dos Sistemas de Proteção Ambiental

A implantação dos sistemas de proteção ambiental nas áreas de disposição de resíduos dos Aterros AS-1 e AS-2 deverá ser iniciada com a execução dos serviços de terraplenagem, com remoção de camadas de materiais inconsolidados e reconstituição através de aterro com solos selecionados e devidamente compactados, execução de escavações e aterros compactados para regularização e conformação geométrica da plataforma de fundação.

Tanto no Aterro AS-1 como no AS-2 será imposta declividade que permita um fluxo por gravidade do sistema de drenagem de chorume, onde as vazões captadas dos efluentes líquidos serão direcionadas por meio de emissários para as lagoas de acumulação de chorume que serão implantadas na região noroeste de cada sub- aterro.

Para o Aterro AS-1 as lagoas estão localizadas na mesma plataforma destinada a implantação da ETE e no Aterro AS-2 as lagoas estão localizadas em área adjacente ao aterro e as vazões acumuladas nestas lagoas serão encaminhadas para o tratamento junto a ETE por meio de sistema de bombeamento e tubulação de recalque, podendo também, eventualmente, serem transportadas por caminhões tanque, seja para tratamento na ETE ou para tratamento externo.

3.4.2.3.1 Impermeabilização da Área de Disposição de Resíduos

O sistema de impermeabilização da fundação da UVS Bujaru será composto por material mineral e geossintético que tem por objetivo isolar os resíduos, garantindo uma barreira impermeável impedindo qualquer infiltração dos líquidos percolados no solo.

A implantação se dará imediatamente após a regularização da base, a partir da execução de camada de impermeabilização com solo compactado, preferencialmente argiloso, com

espessura de 60 cm, garantindo grau de compactação mínimo de 98% do Proctor Normal, avaliado conforme determinado na Norma NBR-7182 – Solo: Ensaio de Compactação, e executado com camadas que deverão ser compactadas dentro das faixas de umidade de projeto de 0,95 a 1,05 da umidade ótima do material, referida à Energia Normal de compactação.

Concomitantemente, deverá ser executado o dique de disparo e dique intermediário entre as etapas nos locais indicados nos desenhos de projeto, com aterro de solos selecionados e devidamente compactado, garantindo-se grau de compactação mínimo de 98% do Proctor Normal, seguindo os mesmos padrões do aterro de regularização da base, considerando sobre largura na região dos taludes e posterior corte para garantir grau de compactação mínimo.

Na sequência, deverá ser instalado a geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade), de 2,0mm de espessura, texturizada nas duas faces, estendendo-se sobre toda a base da fundação e nos taludes em solo resultantes dos serviços de terraplenagem de modo a garantir a cobertura total da área onde serão depositados os resíduos, sendo que elas deverão ser devidamente ensaiadas em conformidade com as normas vigentes.

As geomembranas instaladas em cada etapa deverá ser soldada à geomembrana das etapas subsequentes de forma a impedir o contato direto dos resíduos com o terreno, sendo que as emendas deverão ser executadas com o método de fusão térmica e submetidas a ensaios de qualidade.

A Tabela 9 apresenta as propriedades da geomembrana de PEAD a ser utilizada no sistema de impermeabilização da fundação do maciço sanitário.

Tabela 9. Propriedades da geomembrana de PEAD texturizada nas duas faces

Propriedade	CrITÉRIOS de aceitação	Métodos de Ensaio
Densidade a 23° C	0,94 g/cm ³	ASTM D 792 ou D 1505
Índice de fluidez	≤ 1,0 g/10minutos	ASTM D 1238 190°C, 2,16kg
Tensão de escoamento	≥ 30,8 kN/m	ASTM D 6693 Tipo IV
Alongamento no escoamento	≥ 13%	ASTM D 6693 Tipo IV
Tensão na ruptura	≥ 30,8 kN/m	ASTM D 6693 Tipo IV
Alongamento na ruptura	≥ 400%	ASTM D 6693 Tipo IV
Resistência ao rasgo	≥ 267 N	ASTM D 1004
Resistência ao puncionamento	≥ 667 N	ASTM D 4833
Teor negro de fumo	> 2% e < 3%	ASTM D 1603 ou D 4218
Dispersão de negro de fumo	Nota 1	ASTM D 5596
Fissuramento sob tensão	≥ 267	ASTM D 5397 Apêndix
Tempo de oxidação indutiva (200°C, 1atm O ₂)	≥ 100 minutos	ASTM D 3895

Propriedade	Critérios de aceitação	Métodos de Ensaio
Envelhecimento no forno a 85°C com OIT: (% retida a 90 dias)	≥ 55%	ASTM D 5721 ASTM D 3895
Resistência UV com OIT alta pressão (% retida após 1600 hs)	≥ 50%	GRI GM 11 ASTM D 5885

Nota 1: A dispersão de negro de fumo para 10 amostras deverá apresentar: 9 amostras na categoria 1 ou na 2 e uma amostra na categoria 3.

A proteção mecânica da geomembrana de PEAD, tanto na base quanto nos taludes, será realizada com a instalação de manta geotêxtil com resistência a tração de 31kN/m, ou similar, recobrindo toda a área de geomembrana e na base da célula será executado uma camada de solo com espessura mínima de 40 cm, sobre o geotêxtil, para a proteção mecânica da geomembrana.

Ainda como parte integrante dos sistemas de proteção ambiental, deverá ser implantado o sistema de drenagem de chorume na fundação.

3.4.2.3.2 Sistema de Drenagem de Chorume na Fundação

A determinação da estimativa de vazão de chorume de cada aterro foi realizada pelo Método Suíço, tendo como referência os dados de precipitação mensal do Estação Pluviométrica de Belém / PA (latitude: -1.4358333 / longitude: -48.43722221), no período de 2010 a 2022, obtido no INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Os dados de precipitação estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Histórico das Precipitações mensais da cidade de Belém/PA

ANO/MÊS	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	PRECIPITAÇÃO ANUAL
2010	452,3	359,7	296,8	450,4	403,0	176,3	132,1	188,1	95,5	152,1	134,2	224,8	3.065
2011	520,3	332,4	490,9	579,4	477,3	241,5	195,3	179,4	60,3	139,1	174,6	201,7	3.592
2012	451,2	411,9	742,5	382,8	225,1	320,0	313,2	112,2	197,0	44,3	103,0	259,8	3.563
2013	372,7	612,5	532,3	527,0	409,6	150,5	220,8	245,5	110,4	83,9	210,7	299,7	3.776
2014	406,9	602,9	562,7	561,2	332,9	285,8	240,0	84,8	211,2	82,2	41,3	186,5	3.598
2015	503,2	414,3	540,3	604,9	413,7	216,2	172,4	100,6	96,7	26,4	98,3	258,2	3.445
2016	354,9	534,3	596,5	414,2	269,1	283,0	175,3	98,2	56,4	173,9	103,5	356,9	3.416
2017	599,3	597,9	670,2	478,8	271,4	186,8	35,8	102,6	51,9	222,5	103,3	243,4	3.564
2018	362,8	671,6	506,7	406,3	438,2	132,8	135,0	192,5	170,9	134,7	246,1	432,8	3.830
2019	414,1	453,0	625,0	493,7	349,0	235,6	159,3	152,5	183,4	225,5	239,8	350,9	3.882
2020	386,0	589,3	934,0	569,8	448,6	273,9	133,8	54,3	146,6	266,0	502,1	213,6	4.518
2021	328,3	614,1	423,1	500,1	451,1	212,4	202,4	298,6	330,6	163,4	251,1	206,3	3.982
MÉDIA MENSAL	429,3	516,2	576,8	497,4	374,1	226,2	176,3	150,8	142,6	142,8	184,0	269,6	3.686

Fonte: INMET – Estação meteorológica de Belém-PA - <https://portal.inmet.gov.br/>

Com a utilização da formulação do Método Suíço, com parâmetros conservadores ajustados para as condições locais, foram estimadas as vazões considerando a precipitação média anual e a precipitação máxima média mensal do período onde:

- $Q = k \times P \times A \text{ (m}^3/\text{s)}$
- Q = vazão de chorume que se deseja determinar;
- k = coeficiente de contribuição;
- P = precipitação média;
- A = área de contribuição.

As situações de projeto consideram as bacias de contribuição a partir da drenagem das águas superficiais de montante e da utilização de cobertura do maciço sanitário com geomembranas sintéticas, considerando-se um coeficiente de contribuição k médio, da ordem de $k=0,36$, obtido através de retro análise do aterro localizado em Marituba, devendo-se manter rigorosa rotina de controle e procedimento de modelagem por aferição continuada durante todo o período de operação da UVS Bujaru, para ratificação ou retificação do coeficiente de contribuição.

Situação de Projeto do Aterro 1 (AS-1)

Área de Contribuição = 191.002 m²;

K = 0,36;

Precipitação média anual = 3.686 mm/ano;

Precipitação máxima mensal = 576,8 mm/mês.

• **Vazão - média anual**

$$Q_m = k \times P_m \times A_{\text{cont}}$$

$$Q_m = 0,36 \times 3,686 \times 191.002 = 253.452 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Q_m = \frac{253.452}{365} = 694 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_m = \frac{253.452}{31.536} = 8,0 \text{ l/s}$$

31.536

• **Vazão – máxima média mensal**

$$Q_p = k \times P_p \times A_{\text{cont}}$$

$$Q_m = 0,36 \times 0,5768 \times 191.002 = 39.661 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$Q_m = \frac{39.661}{30} = 1.322 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_m = \frac{39.661}{2.592} = 15 \text{ l/s}$$

Situação de Projeto do Aterro (AS-2)

Área de Contribuição = 262.687 m²;

K = 0,36;

Precipitação média anual = 3.686 mm/ano;

Precipitação máxima mensal = 576,8 mm/mês.

Vazão - média anual

$$Q_m = k \times P_m \times A_{\text{cont}}$$

$$Q_m = 0,36 \times 3,686 \times 262.687 = 348.575 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Q_m = \frac{348.575}{365} = 955 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_m = \frac{348.575}{31.536} = 11,0 \text{ l/s}$$

- **Vazão – máxima média mensal**

$$Q_p = k \times P_p \times A_{\text{cont}}$$

$$Q_m = 0,36 \times 0,5768 \times 262.687 = 54.546 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$Q_m = \frac{54.546}{30} = 1.818 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_m = \frac{54.546}{2.59} = 21 \text{ l/s}$$

A estimativa de vazão total de chorume gerado nos 2 maciços da UVS Bujaru resultou com cerca de 1.649 m³/dia, na sua plenitude, considerando a precipitação média anual e cerca de 3.140 m³/dia, considerando a precipitação máxima média mensal. Ressalta-se ainda:

- Vazão do chorume gerado pelo maciço AS-01 ao final da sua vida útil é estimado em cerca de 691 m³/dia. Isso em sua plenitude e final da vida útil, sendo essa geração uma crescente até o último dia de operação do maciço, onde entra numa decrescente de vazão.
- Vazão do chorume gerado pelo maciço AS-02 ao final da sua vida útil é estimado em cerca de 950 m³/dia. Isso em sua plenitude e final da vida útil, sendo essa geração uma crescente até o último dia de operação do maciço, onde entra numa decrescente de vazão.

Os maciços não deverão operar em concomitância, assim, o regime de geração acima não deverá acontecer em concomitância. Ainda, tal estimativa não considera ações de engenharia para redução da geração de chorume como por exemplo, cobertura de maciço, frentes de operação reduzidas e utilização de mantas de sacrifício. Sendo assim, de maneira conservadora, a fim de garantir segurança ambiental, o projeto da UVS Bujaru priorizou um dimensionamento prevendo o cenário mais conservador possível da geração de chorume.

O sistema de drenagem de chorume na fundação do aterro será composto por drenos de chorume principal, secundário, coletor e emissário que tem a função básica de captar, conduzir e remover o chorume para fora da área de disposição de resíduos sólidos. Entre as etapas 1 e 3 e as etapas 2 e 4 serão instalados drenos de ligação sob os diques intermediários.

O sistema projetado para os Aterros AS-1 e AS-2 será executado na forma tradicionalmente conhecida e recomendado pelas normativas como “espinhas de peixe”, com drenos sobre a camada de solo de proteção mecânica da geomembrana de PEAD, com distribuição conforme preconizada no projeto básico.

O sistema de coleta de chorume na fundação será interligado aos demais sistemas de drenagem interna do maciço sanitário por meio dos drenos horizontais de célula e dos drenos verticais de chorume e gás, denominados poços drenantes verticais. Os poços drenantes verticais serão implantados sobre os drenos de fundação e sequencialmente suplementados de acordo com o alteamento das células de resíduos, desde a fundação até o coroamento da UVS Bujaru.

Os elementos que compõem o sistema de drenagem de chorume na fundação do maciço estão descritos a seguir, e o posicionamento final com seus respectivos detalhamentos estão apresentadas nos desenhos de projeto.

3.4.2.3.2.1 Dreno Principal de Chorume na Fundação

Os drenos principais de chorume têm por finalidade a captação das vazões advindas dos drenos secundários, poços de drenagem vertical, e daquelas produzidas pela decomposição dos resíduos localizados nas proximidades desses elementos.

Os drenos de chorume principais deverão ser executados na fundação de cada etapa dos Aterros AS-1 e AS-2, sobre a camada de solo da proteção mecânica da geomembrana de PEAD, a partir da instalação de manta geotêxtil com resistência a tração de 16 kN/m, sobre a qual deverá ser executado o lastro de brita nº 1 para assentamento do tubo de PEAD PN-16 perfurado, ou similar, com diâmetro de 315 mm. O núcleo do dreno será constituído de brita nº 4, que envolverá o tubo de PEAD, conformando uma seção transversal de geometria trapezoidal com base de 2,10 m de largura, topo de 0,50 m de largura e 0,80 m de altura. A seção deverá ser alargada em 0,50m, para ambos os lados, utilizando-se rachão, de maneira a estabelecer uma seção transversal final com base de 3,10m, topo de 1,50m e altura de 0,80m.

O dreno deverá ficar envolto pela manta geotêxtil garantindo um transpasse na face superior de, no mínimo, 0,50m, para garantir a integridade do mesmo durante todo o processo de instalação até o momento da disposição dos resíduos. Imediatamente antes da disposição de resíduos junto aos drenos, a manta geotêxtil deverá ser desdobrada para garantir o contato direto dos resíduos com o dreno.

Nos pontos de interface com os poços de drenagem vertical, a seção transversal do dreno deverá ser ampliada com a utilização de rachão, mantendo-se as dimensões do núcleo, resultando numa seção drenante com 5,40 m de base, topo com largura de 3,0 m e altura de 1,20 m, de modo a garantir área suficiente para a instalação da placa perfurada de concreto armado localizada sob o dreno vertical.

3.4.2.3.2.2 Dreno Secundário de Chorume na Fundação

Os drenos secundários de chorume deverão ser executados nos locais indicados nos desenhos de projeto, na fundação dos Aterros AS-1 e AS-2 da UVS Bujaru.

Os drenos de chorume secundários deverão ser implantados sobre a camada de solo proteção mecânica da geomembrana de PEAD, a partir da instalação da manta geotêxtil com resistência a tração de 16 kN/m, sobre o qual será executado o dreno estabelecendo uma seção transversal de geometria trapezoidal constituída de rachão, com base de 2,80 m de largura, topo de 0,80 m de largura e 0,80 m de altura.

Assim como o dreno principal, o secundário também deverá ser envolto pela manta geotêxtil, com um transpasse na face superior de, no mínimo, 0,50 m para garantir a integridade do dreno até o momento de disposição dos resíduos, quando imediatamente

antes da disposição de resíduos junto aos drenos, a manta geotêxtil deverá ser desdobrada para garantir o contato direto dos resíduos com o dreno.

3.4.2.3.2.3 Dreno Coletor de Chorume na Fundação

O dreno coletor de chorume na fundação na fundação dos Aterros AS-1 e AS-2 deverá ser instalado junto ao dique de disparo e dique intermediário, nas posições indicadas no desenho de projeto, a partir da instalação da manta geotêxtil com resistência a tração de 16 kN/m, sobre a qual será executado o lastro de brita nº 1, onde serão assentados os tubos de PEAD PN-16 perfurado, ou similar, com diâmetro de 315 mm, que serão envoltos por material drenante composto por brita nº 4 e rachão na lateral do dreno, que deverá ser envolto pela manta geotêxtil, com transpasse na face superior de, no mínimo, 0,50 m, garantindo a integridade do dreno até o momento de disposição dos resíduos. Este dreno terá dimensões finais de 2,0 m de largura de base, topo com largura de 2,50 m e altura de 0,80 m. Imediatamente antes da disposição de resíduos junto aos drenos, a manta geotêxtil deverá ser desdobrada para garantir o contato direto dos resíduos com o dreno.

Nos pontos de interface com os poços de drenagem vertical, a seção transversal do dreno deverá ser ampliada com a utilização de rachão para acomodação dos poços drenantes verticais.

3.4.2.3.2.4 Dreno de Ligação de Chorume na Fundação

O dreno ligação de chorume na fundação terá a função de fazer a transposição das vazões do sistema de drenagem de chorume implantado na Etapa 3 para a Etapa 1 e na Etapa 4 para a Etapa 2 do Aterro AS-1 e a transposição das vazões da Etapa 4 para a Etapa 1 e da Etapa 3 para a Etapa 2 do Aterro AS-2.

Os drenos de ligação deverão ser instalados nos diques intermediários, entre as etapas correspondentes, nas posições indicadas no desenho de projeto, a partir da escavação da vala onde serão instalados duas linhas de tubos de PEAD PN-16 não perfurados, com diâmetro de 400mm, envolto por manta geotêxtil com resistência a tração de 16kN/m, seguido pela instalação de geomembrana dupla de PEAD, com espessura de 2,0mm, e execução de reaterro da vala com solo compactado.

3.4.2.3.2.5 Poço de Drenagem Vertical

Os poços de drenagem vertical deverão ser executados sobre os drenos do sistema de drenagem de chorume da fundação, nos locais indicados no desenho de projeto.

A implantação deste elemento se dará a partir da instalação de placa de concreto armado sobre os drenos de fundação, com dimensões de 3,0 x 3,0 m, perfurada, de maneira a permitir o escoamento das vazões de chorume para os drenos de fundação. Os poços

serão constituídos por tubo de concreto armado PA-3, de 600mm de diâmetro, perfurado, envolto por rachão confinado por tela de aço tipo Telcon Q283, ou similar, resultando com diâmetro de 1,60m. Os poços serão suplementados desde a base até o topo do maciço sanitário de acordo com o alteamento sucessivo das células de resíduos.

3.4.2.3.2.6 Lagoas de Acumulação de Líquidos Percolados

As lagoas de acúmulo de líquidos percolados serão implantadas conforme dinâmica operacional da evolução das fases do aterro. Seu dimensionamento tem como requisito prioritário garantir segurança ambiental e operacional, considerando o cenário mais conservador de geração de chorume.

As lagoas de recepção e acumulação de chorume serão executadas a partir da escavação mecânica da lagoa, seguido pela execução de uma camada de aterro com solo argiloso, compactado, com espessura de 0,50 m e com coeficiente de permeabilidade $k \leq 10^{-7}$ cm/s na base das lagoas. Na sequência será executada a instalação da geomembrana de PEAD com 2,0 mm de espessura e a cobertura flutuante, também com geomembrana de PEAD.

Na plataforma projetada na porção norte do Aterro 1 (AS-1) serão implantadas 6 (seis) lagoas com profundidade de 4,0 m e taludes com inclinação de 1(v):1,5(h), sendo 2 (duas) lagoas de recepção de chorume com dimensões de topo de 45,0 x 45,0 m, com capacidade individual para acumular cerca de 5.500 m³. Adjacente a estas lagoas de recepção serão implantadas mais 4 (quatro) lagoas de chorume, com intuito de armazenar e garantir temporariamente variações e picos de geração como medida de segurança agindo também como equalização prévia antes do tratamento/destinação do chorume gerado. Duas dessas lagoas terão dimensões de topo de 45,0 x 97,5 m, com capacidade individual de cerca de 13.000 m³ e outra duas terão dimensões de topo de 50,0 x 97,5 m, com capacidade individual da ordem de 14.700 m³.

Os líquidos percolados gerados no Aterro 2 (AS-2) serão captados pelo sistema de drenagem de chorume e encaminhados para as 3 (três) lagoas localizadas na região nordeste do AS-2, que serão implantadas com profundidade de 3,75 m e taludes com inclinação de 1(v):1,5(h).

A lagoa de recepção será executada com dimensões de top de 78,0 x 40,0 m, com capacidade para acumular cerca de 8.200 m³ e as outras duas lagoas de chorume que terão dimensões de topo de 80,0 x 77,5 m e capacidade individual da ordem de 17.900 m³. Essas 2, à exemplo das lagoas do AS-01 também têm a finalidade de armazenar e absorver temporariamente variações e picos de geração como medida de segurança agindo também como equalização prévia antes do tratamento/destinação do chorume gerado.

O total de volume de acumulação de todas as lagoas de chorume da UVS Bujaru resultou com aproximadamente 110.400 m³, considerando uma borda livre de segurança nas lagoas de 0,30 m.

O tempo de reservação de chorume nas lagoas projetadas foi determinada para garantir os procedimentos de transporte e/ou tratamento com serenidade. Assim, para a UVS Bujaru, temos:

- Estimativa de geração de chorume - média anual = 1.649 m³/dia;
- Estimativa de geração de chorume - máxima média mensal = 3.140 m³/dia;
- Capacidade total das lagoas de recepção e acumulação = 110.400m³;
- Tempo de reservação pela média anual = 66 dias;
- Tempo de reservação pela máxima média mensal = 35 dias.

3.4.2.3.3 Acessos e Pátio de Manobras

Os acessos operacionais na UVS Bujaru deverão ter pavimentos reforçados, sendo executados com largura mínima de 8,00 metros, por meio da melhoria efetiva das condições do subleito, implantação de camada de rachão, com espessura de 20 cm, compactada com a passagem de trator de esteiras, implantação de camada de brita 4, com espessura de 10 cm, compactada também com trator de esteiras e finalmente uma camada superior com 5 cm de bica corrida, compactada com rolo liso vibratório.

Os pátios de descarga terão dimensões variadas de acordo com fluxo de caminhões nas frentes de serviço e deverão ter revestimento reforçado, composto por uma camada de 30 cm de reforço de sub-base, 20 cm de pedra rachão, 10 cm de brita 4 e 5 cm de bica graduada.

3.4.2.3.4 Sistema de Drenagem de Chorume e Gás nas Células de Resíduos

O sistema de drenagem de chorume e gás a ser implantado no interior das células de resíduos será composto por drenos horizontais de célula que terão a função de captar o chorume da base e o gás do topo de cada célula e encaminhar as vazões para os poços de drenagem vertical, minimizando a formação de eventuais bolsões de líquido percolados e gases no interior do maciço. Estes drenos serão executados no término do alteamento de cada célula de resíduos, interligando os poços de drenagem vertical.

Os elementos constituintes destes sistemas estão apresentados a seguir:

3.4.2.3.4.1 Dreno horizontal de chorume na célula

O dreno de chorume horizontal de célula é constituído de material granular (rachão) e será executado a partir da escavação da vala junto a camada de solo de cobertura da célula, com seção retangular nas dimensões de 0,80 m de largura e 1,60 m de altura. Na base da vala deverá ser executado camada de solo compactado com 0,20 m de espessura e as laterais do dreno que ficarão em contato com o solo de cobertura deverão ser protegidas com manta geotêxtil com resistência a tração de 16kN/m, que se prolongará até o topo, recobrando o dreno.

No início da célula subsequente, a manta geotêxtil que recobre o topo do dreno deverá ser aberta para ser executado o prolongamento do dreno, que consistirá na execução de uma seção trapezoidal de material granular, com 0,40m de altura, sobre a seção retangular já existente.

3.4.2.3.4.2 Alteamento do poço drenante vertical

Imediatamente anterior ao alteamento da célula, deverá se promover à elevação dos poços verticais, seguindo as atividades a seguir:

- O dreno deverá ser apagado;
- Deverá ser removido o topo do dreno comprometido pela queima e, caso seja necessário, efetuar escavação localizada;
- Deverá ser executada a elevação dos tubos de concreto;
- Promover a instalação da tela metálica tipo “Telcon” ou similar;
- Promover o preenchimento anelar com rachão do espaço entre o tubo de concreto e a tela metálica, com o auxílio de uma escavadeira hidráulica;
- Promover a instalação da manta geotêxtil no perímetro do dreno na região de contato com o solo de cobertura.

Com a elevação dos poços verticais efetuada, o resíduo deverá ser disposto nessa célula, sendo empurrado contra eles. Os poços drenantes verticais constituem também o sistema para coleta e remoção dos gases gerados nos aterros.

3.4.2.3.4.3 Dreno de contato

Os drenos de contato deverão ser executados nos taludes do alteamento do maciço sanitário, escavando o resíduo existente, nas faces onde serão alteadas as etapas subsequentes. A sua principal função é a de conectar o fluxo de chorume e gás entre o aterro existente e o aterro novo, a ser executado.

Os drenos de contato deverão ser executados de modo a estabelecer uma seção transversal de conformação retangular, constituída de rachão, com dimensão de 0,8 m de largura e 3,5 m de profundidade.

À medida que as células de resíduos forem alteadas, deverão ser instalados drenos de pé de talude, onde as feições locais indicarem exsudação de chorume, e drenos transversais caso haja a necessidade de uma maior eficiência na drenagem em um determinado local.

3.4.2.3.5 Drenagem de Gases

O sistema de drenagem de gases composto pelos poços de drenagem vertical e drenos de célula terá como objetivo evitar a formação de eventuais bolsões de acumulação dos gases gerados pela decomposição da fração orgânica dos resíduos confinados nas camadas do aterro, facilitando e direcionando a sua migração para os queimadores instalados no topo dos poços de drenagem vertical e/ou serão encaminhados para a Unidade de Biogás para a queima centralizada ou geração de energia.

Além desta serventia, o poço de drenagem vertical também promoverá a descida do chorume através da interligação entre os drenos horizontais situados nas diversas camadas do aterro.

Os poços de drenagem vertical serão instalados desde a base do aterro até o topo do maciço de resíduos, sobressaindo cerca de 1,0 m acima do topo de cada camada superior, com espaçamento mínimo entre eles suficiente para garantir uma captação eficiente dos gases gerados no maciço de resíduos.

Os poços drenantes deverão ser instalados conforme descrito anteriormente e com as dimensões de projeto, sendo que na extremidade superior, será adicionado um tubo em ferro galvanizado, a fim de que se possam direcionar os gases para a queima através de queimadores ou "*flares*" adaptados na extremidade do tubo ou o dreno será adaptado e interligado a rede de captação de biogás para o encaminhamento das vazões para a Unidade de Biogás.

3.4.2.3.6 Sistema de Drenagem de Águas Pluviais

As vazões pluviais incidentes nas áreas dos aterros e regiões adjacentes serão captadas e encaminhadas para o devido lançamento, por meio de canaletas, canais, galerias e demais elementos de drenagem superficial, rígidos ou flexíveis, implantados sobre o corpo do maciço sanitário e sobre o terreno natural.

Como já dito anteriormente, a cobertura do maciço sanitário será executada com geomembrana de PEBD, portanto, alguns dos elementos que compõem o sistema de

drenagem das águas pluviais deverão ser executados com o mesmo material, como no caso das canaletas de berma e canais perimetrais junto ao pé do dique de disparo.

Transversalmente aos taludes resultantes do alteamento de resíduos deverão ser instaladas descidas hidráulicas com geocélulas de PEAD, preenchidas com material granular, com a função de encaminhar as vazões captadas pelas canaletas de berma para fora do maciço sanitário. Nas bermas e sob os acessos operacionais deverão ser instaladas travessias com tubulação de PEAD nos locais indicados nos desenhos de projeto.

Recomenda-se que os serviços de escavação, regularização e reaterro para a instalação dos elementos que compõem o sistema de drenagem das águas pluviais sejam executados previamente a instalação da geomembrana de PEBD de cobertura do maciço sanitário.

Para todos os elementos descritos do sistema de drenagem das águas pluviais, as observações do monitoramento e os serviços de manutenção são fatores primordiais para o eficiente desempenho do sistema e para a minimização de erosões e infiltrações.

Quanto às infiltrações, é fato que constituem uma das principais causas das vazões de chorume, em fase executiva. Assim, o seu controle por meio da garantia dos caimentos do maciço de resíduos em direção aos elementos de drenagem e a retirada das vazões pluviais pelo sistema de drenagem implica na redução das vazões potenciais de efluentes líquidos, fator importante ao controle ambiental do empreendimento.

3.4.2.3.6.1 Determinação da Vazão de Projeto

As áreas de contribuição de vazões pluviais foram definidas em função da conformação topográfica da região e considerando a configuração final dos aterros pretendidos.

A intensidade de chuva é determinada em função da relação duração – frequência, obtida através da análise probabilística das máximas intensidades pluviométricas discretizadas para diferentes durações. O conhecimento das características das precipitações intensas apresenta grande interesse por sua aplicação em estudos e projetos de drenagem urbana e de combate às inundações.

Inúmeros autores determinaram equações de chuvas intensas em diversas regiões do Brasil, sendo que para a cidade de Belém / PA foi desenvolvida a formulação proposta por Souza, R. S. (1985), adotada neste estudo para a determinação da intensidade de chuva crítica, sendo esta:

$$i = \frac{2300.T^{0,20}}{(t+20)^{0,91}}$$

onde:

i = Intensidade da chuva (mm/h);

T = Período de retorno (anos).

Tendo em vista a importância das obras projetadas, adotou-se para a determinação da chuva de projeto, período de retorno de 25 anos para as obras internas ao empreendimento.

Para a determinação do tempo de concentração, utilizou-se a formulação de George Ribeiro:

$$T_c = \frac{16.L}{(1,05-0,2.p).(100.S)^{0,04}}$$

onde:

T_c = Tempo de concentração (min.);

L = Comprimento do talvegue (km);

p = Relação da área coberta pela área total (m^2/m^2);

S = Declividade média do talvegue (m/m).

A vazão é calculada utilizando-se a fórmula Racional:

$$Q = c. i. A$$

Onde:

Q = Vazão no canal (m^3/s);

c = Coeficiente “run-off”;

A = Área analisada (m^2).

Os elementos de drenagem considerados nesta etapa de estudos para serem implantados estão apresentados a seguir.

3.4.2.3.6.1.1 Canal Perimetral

Os Canais Perimetrais deverão ser implantados junto ao pé do dique de disparo dos Aterros AS-1 e AS-2, em toda extensão, conforme locado nos desenhos de projeto e deverão ser executados a partir da escavação mecânica ou manual da vala. O canal deverá ter seção trapezoidal, com inclinação 1(V):1(H), base com 60 cm de largura e revestido por manta PEBD apoiada e ancorada em solo escavado, com declividades mínimas variáveis, conforme será apresentado no dimensionamento desses elementos.

Na lateral externa do canal, deverá ser executada leira com solo compactado com inclinação 1(V):1(H), largura de topo de 60 cm e altura variável de 60 cm e 80 cm. Durante os serviços de implantação da leira, deverá ser previsto sobre largura do aterro com dimensão suficiente para execução da compactação e posterior escavação, conformando a leira nas dimensões de projeto.

3.4.2.3.6.1.2 Descida Hidráulica com Geocélula

As descidas serão executadas com geocélulas, ou similar, sobre o maciço de resíduos, de maneira que consiga absorver as movimentações de recalques e deslocamentos verificados nos maciços de lixo a partir da simples reconformação de apoio sobre a superfície, sem a perda de continuidade, formação de descolamentos, com o objetivo de

captar as vazões canaletas de berma e das canaletas triangulares das plataformas e encaminhá-las para descarte em corpo hídrico existente por meio de canais e/ou galerias, sendo de vital importância a sua locação e distribuição em posições de maiores recalques do aterro, de maneira que se garanta a afluência dos escoamentos e minimizar ocorrências de inversões de declividade, embora devam ser previstos serviços de monitoramento e correção.

A implantação da descida hidráulica de geocélula se dará a partir da escavação mecânica e manual de vala com dimensões de base de 1,0m de largura, profundidade de 1,10m e taludes laterais com inclinação de 1,0(V):1,5(H), que, invariavelmente, acabará por expor o lixo e o material escavado deverá ser removido para as frentes de disposição de resíduos. Onde ocorrer a exposição de resíduo será executado uma camada de solo argiloso compactado com espessura mínima de 0,5m, sobre a qual será instalada a geomembrana de PEAD de 1,5mm de espessura, seguida da instalação de manta geotêxtil com resistência a tração de 16kN/m. Em seguida deverá ser montada a descida hidráulica com a instalação de tensor multiaxial na base da geocélula, sendo fixado com fitas de nylon tipo “enforca gato”, e instalação de tendões para estruturas a geocélula. Em seguida deverá ser executado o preenchimento das células com brita nº 4 limpo, isento de pó de pedra e areias sobre a geocélula já preenchida com material granular, deverá ser instalado tensor multiaxial, ou material similar, fixado com fitas de nylon de modo a evitar o carreamento do material granular instalado nas células. Nas bermas indicadas no desenho de projeto deverão ser instaladas travessias com tubulações de PEAD.

Na interface das descidas hidráulicas com as bermas do alteamento, deverá ser executada a travessia com tubos de PEAD corrugado com interior liso, ou similar, nas posições indicadas no projeto.

3.4.2.3.6.1.3 Canaletas de Berma

A instalação das canaletas de berma deverá se dar a partir da escavação de vala triangular de dimensões adequadas, com inclinação das laterais de 1(V):1(H) e 40 cm de altura, onde previamente a área deverá ser regularizada com solo compactado, de modo a corrigir eventuais depressões oriundas de recalques do aterro de resíduos.

Nos locais em que a escavação da canaleta diminuir a espessura do selo de vedação aquém do especificado, deverá ser feita escavação adicional (sobre escavação) para a reconstituição da camada de solo e garantias das espessuras indicadas. As canaletas deverão ser revestidas com a mesma manta de PEBD utilizada na impermeabilização do maciço.

Na lateral externa da canaleta, deverá ser executada leira com solo compactado com inclinação 1(V):1(H), largura de topo de 40 cm e altura de 40 cm. Durante os serviços de implantação da leira, deverá ser previsto sobre largura do aterro com dimensão suficiente

para execução da compactação e posterior escavação conformando a leira nas dimensões de projeto.

3.4.2.3.6.1.4 Travessia de bermas

As travessias de águas pluviais das bermas e sob o acesso operacional no maciço de resíduos deverão ser executadas com tubulações de PEAD corrugado com interior liso, ou similar, com diâmetro variável de 400mm a 600mm, implantadas em valas escavadas que deverão ser preparadas de forma a garantir uma base uniforme e com declividade mínima de 1%. Após a regularização do fundo da vala, deverá ser feito o berço da tubulação com brita nº 2, seguindo com o assentamento dos tubos de PEAD e reaterro da vala com solo compactado.

3.4.2.3.6.1.5 Travessia com Tubo de Concreto Armado

A Travessia com tubo de concreto armado PA-3, deverá ser executada no ponto em que a drenagem superficial precisa transpor o acesso operacional, localizado no perímetro dos maciços sanitários. Neste ponto, os elementos hidráulicos (canais perimetrais) serão interrompidos e o fluxo será encaminhado por travessias com uma a três linhas de tubos de concreto armado, com diâmetro variável de 800 mm a 1.200mm, implantadas em valas escavadas que deverão ser preparadas de forma a garantir uma base uniforme e com declividade mínima de 1,5%. Após a regularização do fundo da vala, deverá ser feito o berço da tubulação com brita nº 2, seguindo com o assentamento dos tubos e reaterro da vala com solo compactado.

3.4.2.3.6.1.6 Caixas de Passagem

Deverá ser implantada caixa de passagem nas mudanças de direção dos elementos de drenagem de modo a promover a interligação entre os elementos que compõem o sistema de drenagem e na saída das tubulações de travessia sob o acesso operacional, adequando o encaminhamento das vazões coletadas para o lançamento nos locais indicados no projeto.

A execução da caixa de passagem se dará a partir da escavação mecânica da vala, seguido pela execução do lastro de concreto magro, instalação da armadura da laje de fundo, concretagem da laje de fundo, execução das paredes com alvenaria de blocos de concreto revestidas com argamassa de cimento, areia e cal. A vala remanescente dos serviços de escavação deverá ser reaterrada com solo compactado.

3.4.2.3.6.1.7 Canaleta Meia cana de Concreto

Junto ao pé do talude resultante dos serviços de terraplenagem deverá ser instalada canaleta do tipo meia cana pré-moldada de concreto, com diâmetro de 400mm a 600 mm,

implantadas a partir a escavação e regularização da vala, execução do lastro de concreto magro com cerca de 5 cm de espessura e assentamento das canaletas.

3.4.2.3.6.1.8 Canal Perimetral

Os canais perimetrais dos Aterros AS-1 e AS-2 deverão ser implantados junto ao pé do dique de disparo, em todo o perímetro da UVS Bujaru e deverão ser executados a partir da escavação mecânica ou manual da vala. O canal deverá ter seção trapezoidal, com inclinação 1(V):1(H), base com 1,0 m de largura e altura variável de 0,60 m a 0,80 m, revestido com geomembrana de PEBD apoiada e ancorada em solo escavado, com declividade mínima da ordem de 1,0%.

Na lateral externa do canal, deverá ser executada leira em solo compactado com inclinação 1(V):1(H), largura de topo de 60 cm e altura de 80 cm. Durante os serviços de implantação da leira, deverá ser previsto sobre largura do aterro com dimensão suficiente para execução da compactação e posterior escavação, conformando a leira nas dimensões de projeto.

3.4.2.3.6.1.9 Canal Retangular de Concreto e Alvenaria

Estes elementos deverão ser implantados nas regiões localizadas fora do perímetro dos aterros ou em outras regiões indicadas no projeto, quando assentes sobre terreno natural, com a função de encaminhamento das vazões para o correto lançamento.

As dimensões desses elementos serão variáveis na altura e na largura e deverão ser executados com laje de fundo em concreto armado e parede de alvenaria de armada, implantado a partir da abertura das valas com nivelamento do fundo respeitando as declividades impostas, execução da laje de fundo em concreto armado, execução das paredes laterais em alvenaria armada e reaterro compactado entre a escavação e as paredes laterais do canal.

3.4.2.3.6.1.10 Canal Retangular com Degraus

Deverão ser implantadas canais retangulares com degraus nos trechos de elevada declividade onde se verifica inviável a implantação de canais retangulares de concreto e alvenaria em razão das altas velocidades de escoamento, superiores às recomendadas pelas normas técnicas brasileiras.

As dimensões desses elementos serão variáveis na altura de 0,80 m a 1,50 m, na largura de 1,0 m a 4,0 m, no número e no comprimento dos degraus e na altura dos degraus de 0,60 m a 0,80 m.

A implantação das descidas hidráulicas com degraus se dará a partir da escavação mecânica e/ou manual da vala, regularização manual dos degraus e fundos, execução de lastros de brita ou concreto magro, seguidas de todas as operações de implantação da

estrutura de concreto armado e/ou alvenaria armada, finalizado pelo reaterro das laterais com solo compactado.

3.4.2.3.6.1.11 Caixa de Sedimentação

Deverá ser implantada uma caixa de sedimentação no ponto de lançamento da drenagem das águas pluviais no empreendimento, com dissipação hidráulica previa, garantindo a restituição de escoamento com velocidades mínimas e com controle de sedimentos.

As caixas de sedimentação terão duas funções, sendo uma de caixa de sedimentação com retenção do material particulado para a situação de chuvas de baixa intensidade, que resulta com baixa vazão e a outra de dissipação de energia para o caso de chuvas torrenciais vinculado a elevado índice pluviométrico, estabelecendo um regime turbulento no contato com a estrutura da caixa de gabião, resultando na redução de velocidade do escoamento na saída da caixa.

As caixas deverão ser executadas a partir da escavação mecânica da vala, nivelamento da fundação, instalação de manta geotêxtil com resistência a tração de 16 kN/m, montagem dos gabiões da base e das paredes da caixa, com a instalação da soleira e descarregador de fundo, seguido pelo reaterro da vala entre a caixa e o terreno escavado e finalizada com a execução do enrocamento na região de jusante da caixa.

Os enrocamentos deverão ser implantados com material granular para espriamento das águas com redução da altura de lâmina d'água, consequente redução da velocidade de escoamento e garantia de restituição de escoamento para o corpo hídrico existente nesta região.

3.4.2.4 Mão de Obra

Durante a fase de implantação é estimada uma força de trabalho com aproximadamente 60 pessoas, podendo grande parte ser terceirizada. Para tanto serão consideradas as seguintes funções:

- Motoristas;
- Operadores de Máquinas Pesadas;
- Operadores de Máquinas;
- Soldadores;
- Pedreiros;
- Ajudantes;
- Vigias;
- Além de funções técnicas e administrativas como:

- Engenheiros;
- Biólogos;
- Administradores;
- Fiscais;
- Encarregados;
- Apontadores.

3.4.2.5 Canteiro de Obras

O Canteiro de obras será implementado dentro dos limites do empreendimento (ADA) em um local que possibilite funcionalidade às operações diárias e possua baixa sensibilidade social. A localização exata será definida previamente na elaboração do projeto executivo.

3.4.2.6 Infraestrutura

3.4.2.6.1 Abastecimento de Água

Apesar da área para a instalação da UVS Bujaru ser antropizada, não há o abastecimento de água que possa suprir as necessidades do empreendimento. Por essa razão, será realizada inicialmente a compra de água e secundariamente, após o início das operações, está prevista a perfuração de um poço de captação de água, cuja vazão dependerá do regime hidráulico a ser estudado na ocasião. A utilização de água de reuso para as atividades operacionais (podendo ser proveniente do efluente tratado pela Estação de Tratamento de Efluentes a ser instalada no empreendimento) também é considerada como uma alternativa sustentável.

3.4.2.6.2 Energia Elétrica

A concessionária que fornece energia elétrica para o município de Bujaru é a Equatorial, a mesma que fornecerá este serviço para a UVS por meio de ampliação de rede elétrica local. O empreendimento contará com geradores a diesel para suprir a demanda em caso de falta na disposição de energia.

3.4.2.6.3 Abastecimento de máquinas e equipamentos

Em relação ao abastecimento de máquinas e equipamentos com combustível, inicialmente está previsto o abastecimento local a partir de caminhão tanque. Alternativas como a implantação de tanques aéreos de armazenamento de combustível poderão ser instalados a depender da viabilidade econômica. Nesse cenário, serão respeitadas as normas e legislações vigentes para a implantação do local e gerenciamento do combustível.

3.4.2.7 Insumos

O projeto da UVS Bujaru prioriza a aquisição de insumos em comércios locais com incentivo ao fomento da economia local. Os principais insumos a serem utilizados para a instalação, afora insumos de construção civil tais como cimento, areia ferragem, destacam-se os geossintéticos como Geomembrana para impermeabilização, geotêxtil e materiais pétreos como Pedra do Tipo Rachão.

Já para o período de operação, materiais Pétreos e materiais geossintéticos a serem utilizados na cobertura do maciço, sendo cobertura provisória, temporária ou definitiva são os que se destacariam.

Insumos químicos para o tratamento de efluentes deverão ser utilizados, bem como óleos lubrificantes e demais insumos necessários para realização de manutenções nos equipamentos instalados.

Todos o gerenciamento dos resíduos gerados nos processos acessórios da implantação e operação do empreendimento será tratado através do PGRS do empreendimento.

3.4.3 FASE DE OPERAÇÃO DA UVS BUJARU

3.4.3.1 Controle de Recebimento de Resíduos

No processo operacional da UVS Bujaru, um dos principais pontos a ser observado será a tipologia dos resíduos a serem dispostos no local, com um adequado procedimento de controle na entrada do empreendimento.

O controle de recebimento dos resíduos sólidos será feito inicialmente pela pesagem da carga através de balança rodoviária a ser instalada no acesso de entrada ao empreendimento, onde a procedência dos resíduos deverá ser verificada, sendo registradas informações como identificação do veículo, placa, motorista e horário. Na saída, após o descarregamento, os caminhões transportadores também serão pesados para o levantamento quantitativo dos resíduos recebidos.

Após checagem da empresa coletora ou transportadora, será realizada uma inspeção visual nas características dos resíduos. Se houver suspeitas de que o material descarregado é incompatível com as características gerais de resíduos Classe II, o material será separado e submetido a uma visualização mais detalhada. No caso de alguma irregularidade, o gerador (ou responsável) será imediatamente comunicado, não sendo admitido o aterramento da carga incompatível de resíduos.

A pesagem dos resíduos servirá para o controle quantitativo das cargas recebidas na UVS Bujaru, possibilitando o seu acompanhamento ao longo da operação, bem como o registro de suas procedências.

3.4.3.2 Execução das Células de Resíduos e Camada de Cobertura

A formação das células de alteamento de resíduos deverá obedecer aos critérios de execução de aterros sanitários estabelecidos pela norma técnica ABNT NBR 13896 “Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação”, com a disposição dos resíduos realizada, preferencialmente, junto ao pé das células de alteamento, promovendo a compactação do lixo depositado com trator de esteiras tipo D6, ou similar, no sentido ascendente, sobrepondo-se camadas de 30 a 60 cm de resíduos, e posterior execução da camada de cobertura sanitária diária constituída de solo ou material inerte com espessura mínima de 20 cm, ou ainda, com a utilização de manta de sacrifício.

O aterro será conformado, no alteamento máximo da área, desde sua base até a plataforma de topo, em camadas de células de resíduos sólidos com cerca de 5,0 m de espessura, intercalados por bermas de 5,0 m de largura e taludes conformados com inclinação de 1(V):2(H). Nos níveis indicados no projeto serão executadas com 15,0 m de largura, a fim de assegurar a estabilidade do maciço de resíduos e permitir o alteamento das células subsequentes.

A operação da UVS Bujaru se dará com o descarregamento dos caminhões no nível da base dos taludes de camada de células e, posteriormente, espalhado e compactado de maneira ascendente, formando rampa média de 1(V):3(H), em camadas de 30 a 60 cm de espessura. O topo da camada, por questão de drenagem superficial, deverá resultar em declividade da ordem de 1,0%.

Ao final de cada célula executada deverão ser implantados os sistemas de drenagem interna de líquidos e gases, bem como o alteamento dos poços drenantes verticais, necessários para a continuidade de operação do aterro.

A compactação do resíduo é necessária para reduzir seu volume, possibilitar o tráfego de equipamentos e, também, para reduzir os recalques primários do maciço sanitário.

Nas etapas subsequentes de operação, deverá ser executado a remoção da camada de cobertura do aterro existente e a escavação dos taludes em degraus para que ocorra o devido imbricamento, de forma que o novo resíduo seja disposto diretamente em contato com o resíduo antigo.

A camada de recobrimento final de taludes, bermas e platôs definitivos deverá ser executada com espessura mínima de 50 cm de solo compactado, sobre a qual será instalada a geomembrana de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), de 1,0 mm de espessura, recobrindo todo o maciço de resíduos. Deverá ser executado, ainda, a implantação de sistema de drenagem de águas pluviais sobre o maciço de resíduos e em todo seu entorno.

3.4.3.3 Plano de Avanço do Aterro 1 (AS-1)

O Aterro 1 (AS-1) foi projetado prevendo-se, a princípio, quatro etapas ininterruptas de implantação e cinco de operação, com o avanço a partir da Etapa 1 localizada na região nordeste do AS-1, seguindo com a Etapa 2 na região noroeste, daí para a Etapa 3 na região sudeste, seguindo para a Etapa 4 na região sudoeste. A Etapa 5 será somente de operação com o alteamento de 5 (cinco) células sobre o maciço sanitário configurado pelas etapas anteriores.

Para a Etapa 1 foi preconizada uma área de aproximadamente 50.000m², onde serão executadas 4 células de alteamento de resíduos, sendo que a primeira deverá ser alteada até o nível do topo do dique perimetral na região norte sendo adequado nas demais regiões. A capacidade para disposição de resíduos da Etapa 1 foi estimada em cerca de 670.672 toneladas de resíduos que resulta com uma vida útil de operação estimada da ordem de 1,15 anos.

A Etapa 2 ocupará uma área aproximada de 55.900m², onde serão executadas 4 células de alteamento de resíduos nos mesmos moldes da etapa anterior. A capacidade para disposição de resíduos da Etapa 2 foi estimada em cerca de 1.169.639 toneladas de resíduos que resulta com uma vida útil de operação estimada da ordem de 2 anos.

Dando sequência ao avanço do AS-1 será implantada a Etapa 3 contemplando uma área da ordem de 53.400m², onde serão alteadas mais 4 células de resíduos com capacidade estimada de cerca de 1.252.204 toneladas de resíduos, resultando com uma vida útil de operação estimada da ordem de 2,14 anos.

Na Etapa 4, subsequente, com área de aproximadamente 52.400m², também serão alteadas 4 células de resíduos, resultando com capacidade de cerca de 746.368 toneladas e uma vida útil de operação estimada da ordem de 1,28 anos, conformando um maciço único com plataforma no nível máximo de aproximadamente 35,0 metros.

A Etapa 5 corresponde ao alteamento de mais 5 células sobre o maciço de resíduos conformado pelas etapas de 1 a 4, com capacidade estimada para disposição de cerca de 1.281.505 toneladas e com uma vida útil de operação estimada da ordem de 2,19 anos. O alteamento da Etapa 5 contará com berma de estabilidade com cerca de 15,0m de largura no nível aproximado de 40,0 metros.

A Tabela 11 resume as quantidades estimadas de resíduos que serão dispostos em cada etapa preconizada para o Aterro 1 (AS-1) e sua respectiva vida útil, que totalizou cerca de 5.120.389 de toneladas para um período de operação da ordem de 8,77 anos.

Tabela 11. Áreas de implantação, quantidades estimadas de resíduos e vida útil de operação por cada etapa do Aterro 1 (AS-1).

Etapa	Área de Operação (m²)	Quantidade de Resíduos (ton)	Vida Útil (ano)	Vida Útil Acumulada (ano)
1	50.051	670.672	1,15	1,15
2	55.896	1.169.639	2,00	3,15
3	53.391	1.252.204	2,14	5,29
4	52.413	746.368	1,28	6,57
5	---	1.281.505	2,19	8,77
Total	211.751	5.120.389	8,77	

Para as estimativas de capacidade de disposição de resíduos e vida útil foi considerado a demanda média diária de 1.600 toneladas de resíduos, peso específico médio de 1,0 t/m³, percentual de solo de cobertura de 15% e recalques muito conservadores da ordem de 20%.

A Figura 39 a Figura 43 a seguir apresentam o Plano de Avanço de implantação e operação de cada etapa do Aterro AS-1 para a UVS Bujaru.

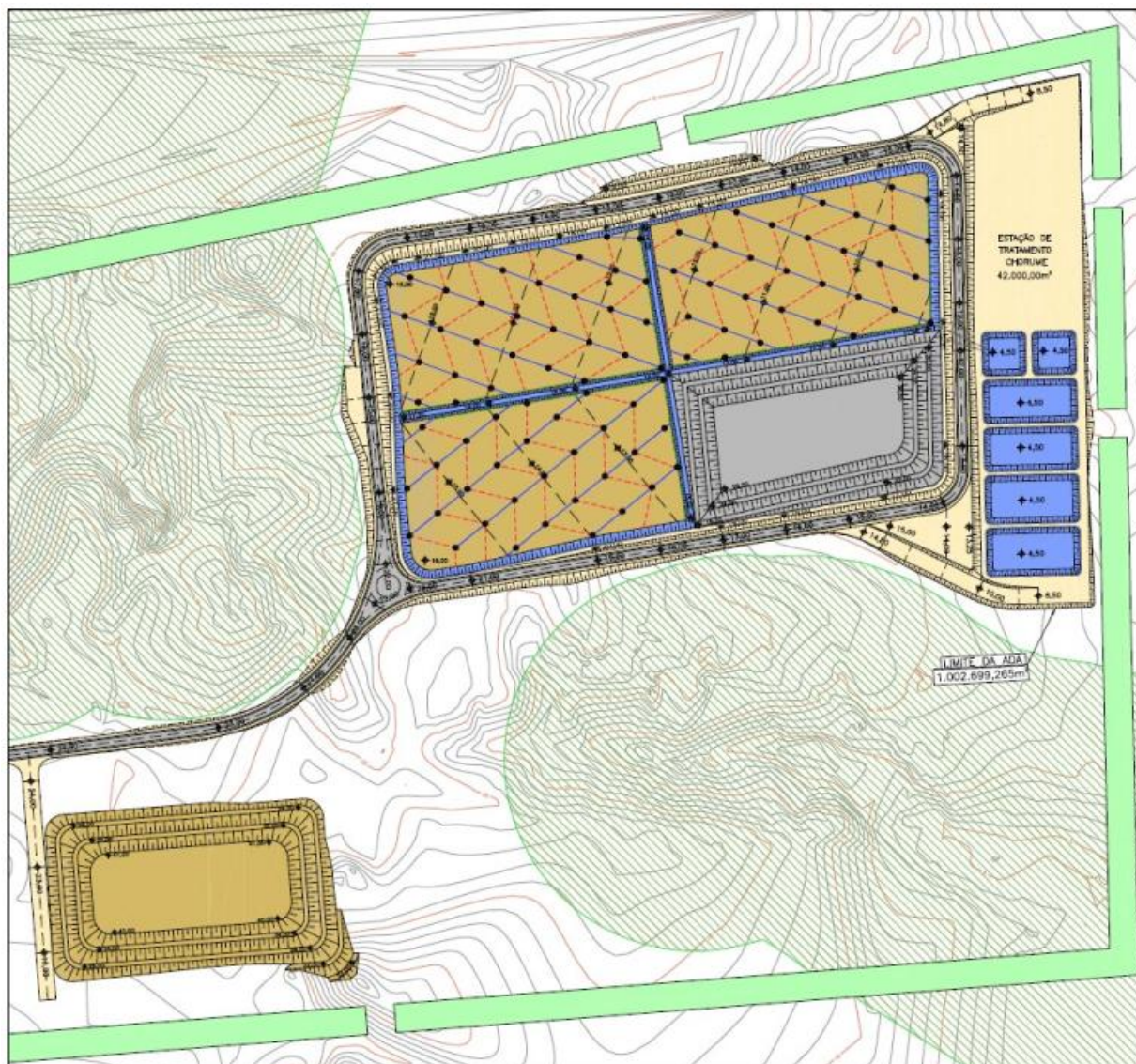


Figura 39. Alçamento etapa 1 – AS-1.

Fonte: Cepollina, 2025

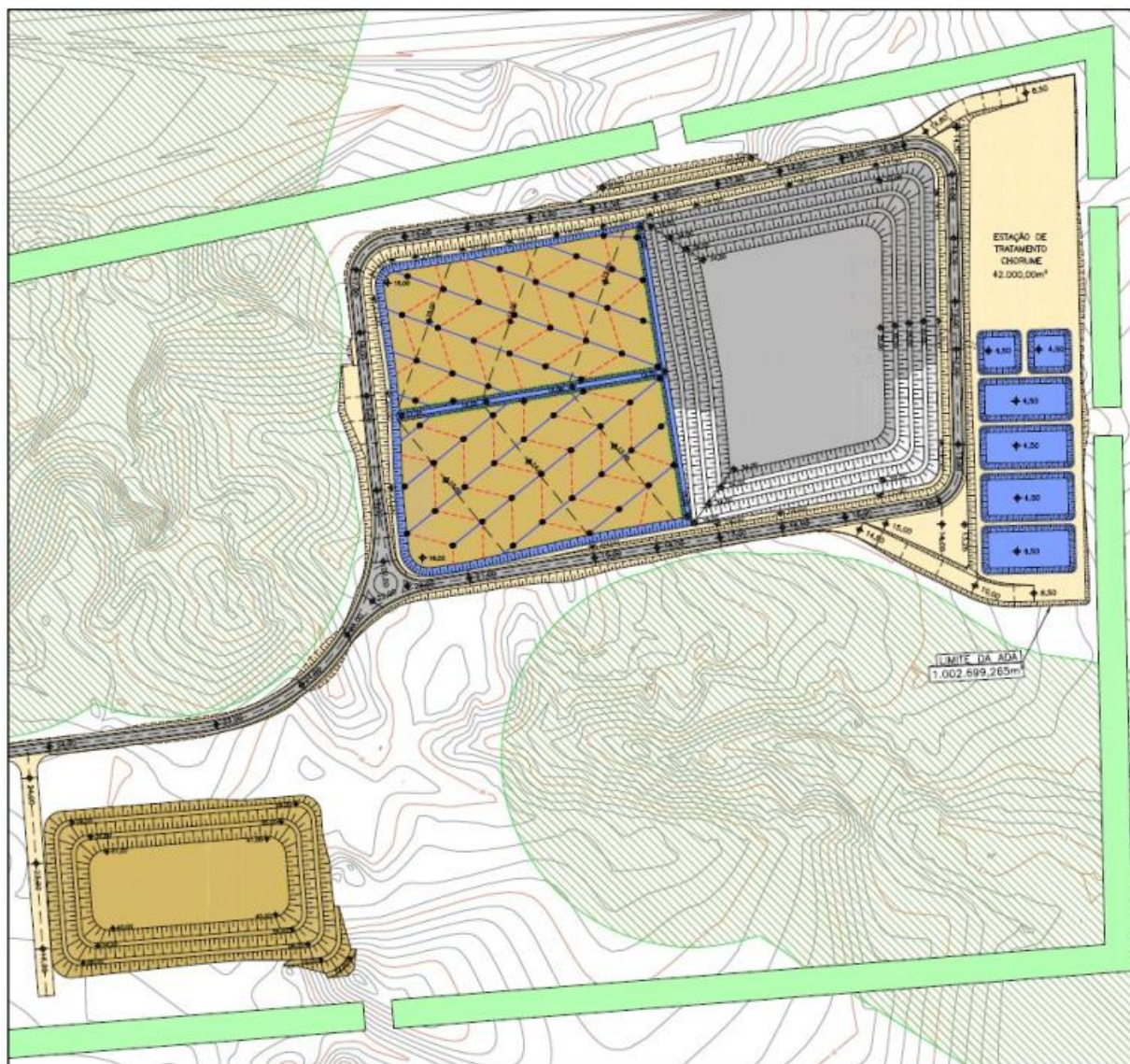


Figura 40. Alçamento etapa 2 – AS-1.
Fonte: Cepollina, 2025

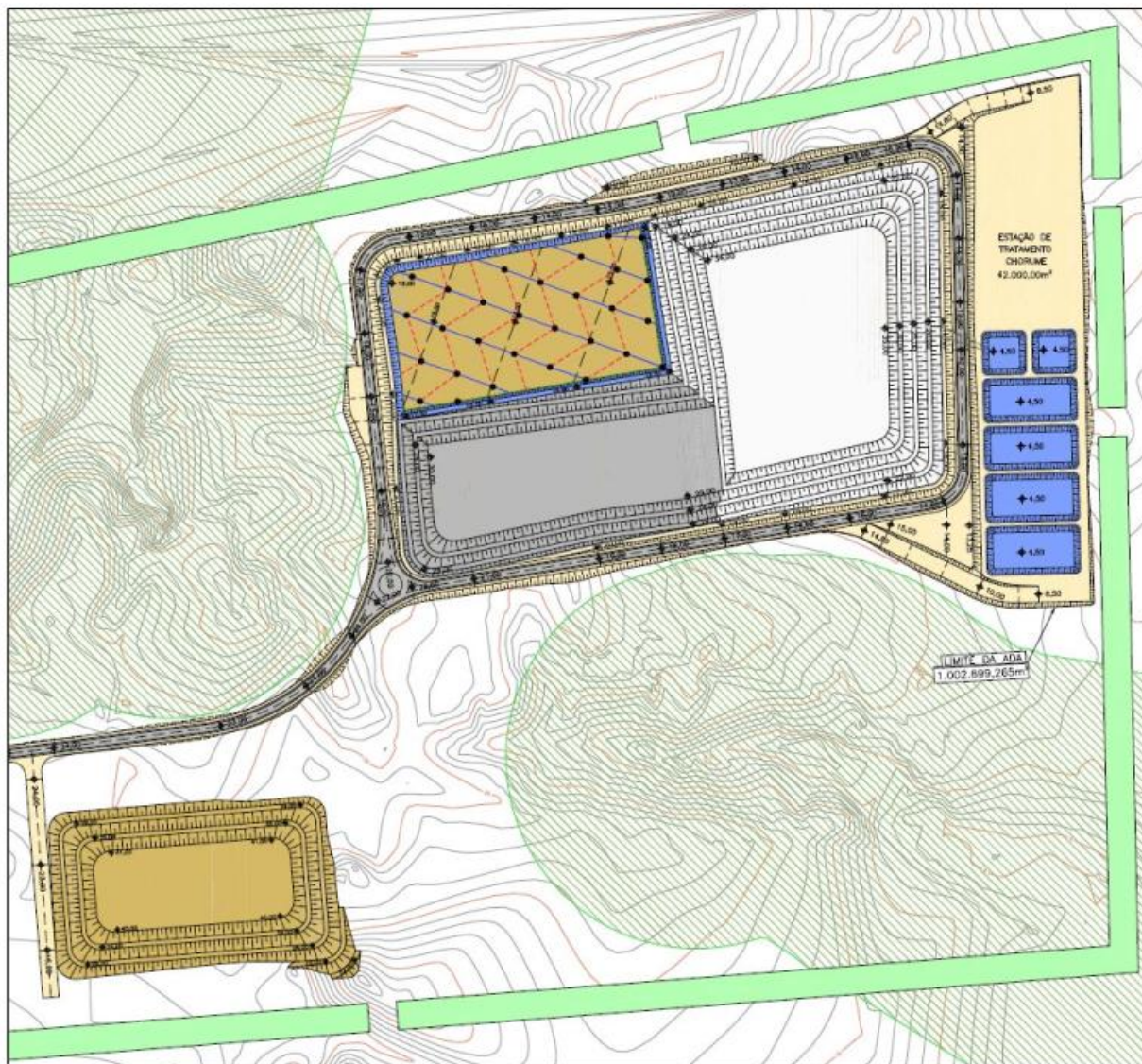


Figura 41. Alçamento etapa 3 – AS-1.

Fonte: Cepollina, 2025

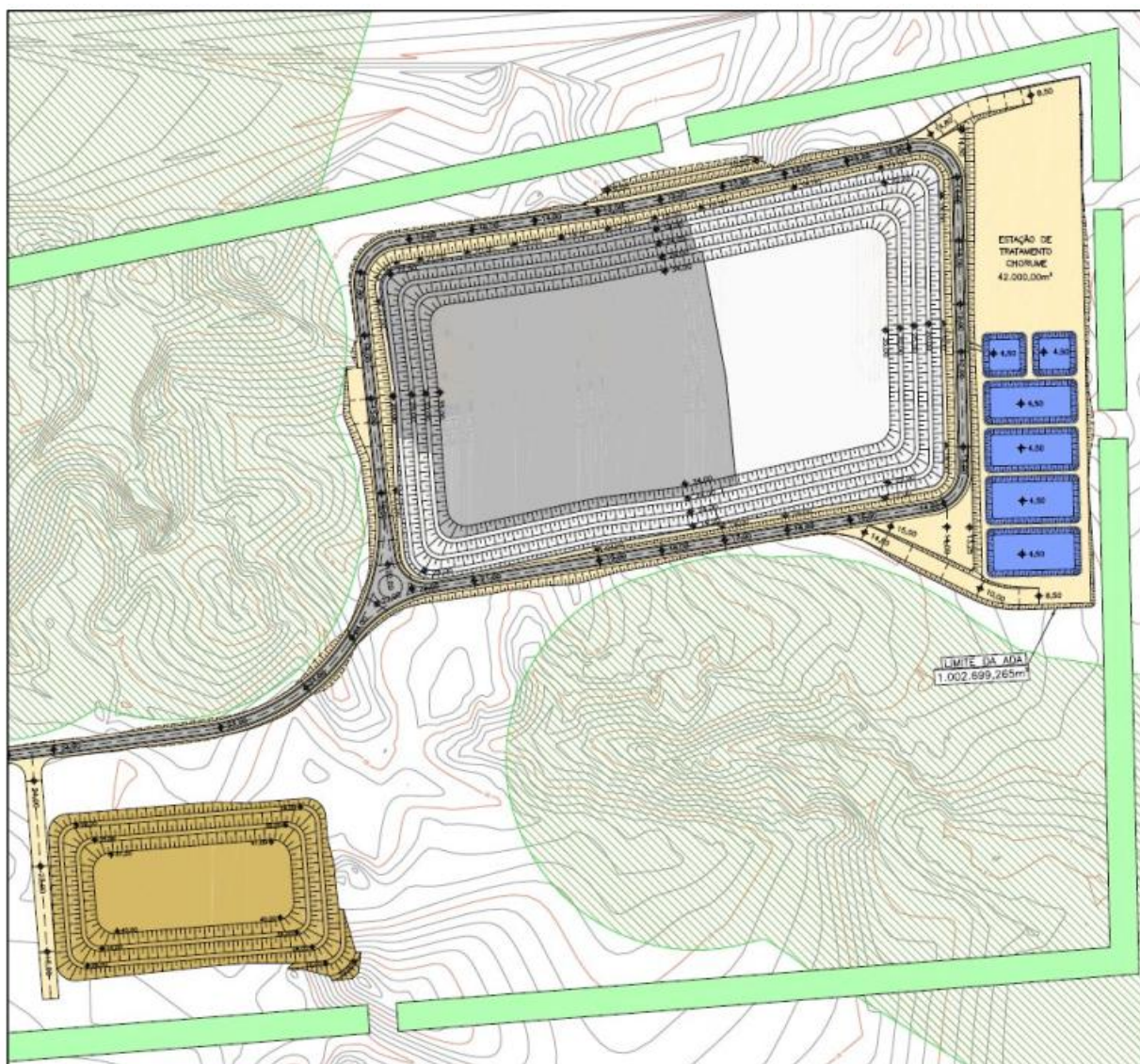


Figura 42. Alçamento etapa 4 – AS-1

Fonte: Cepollina, 2025

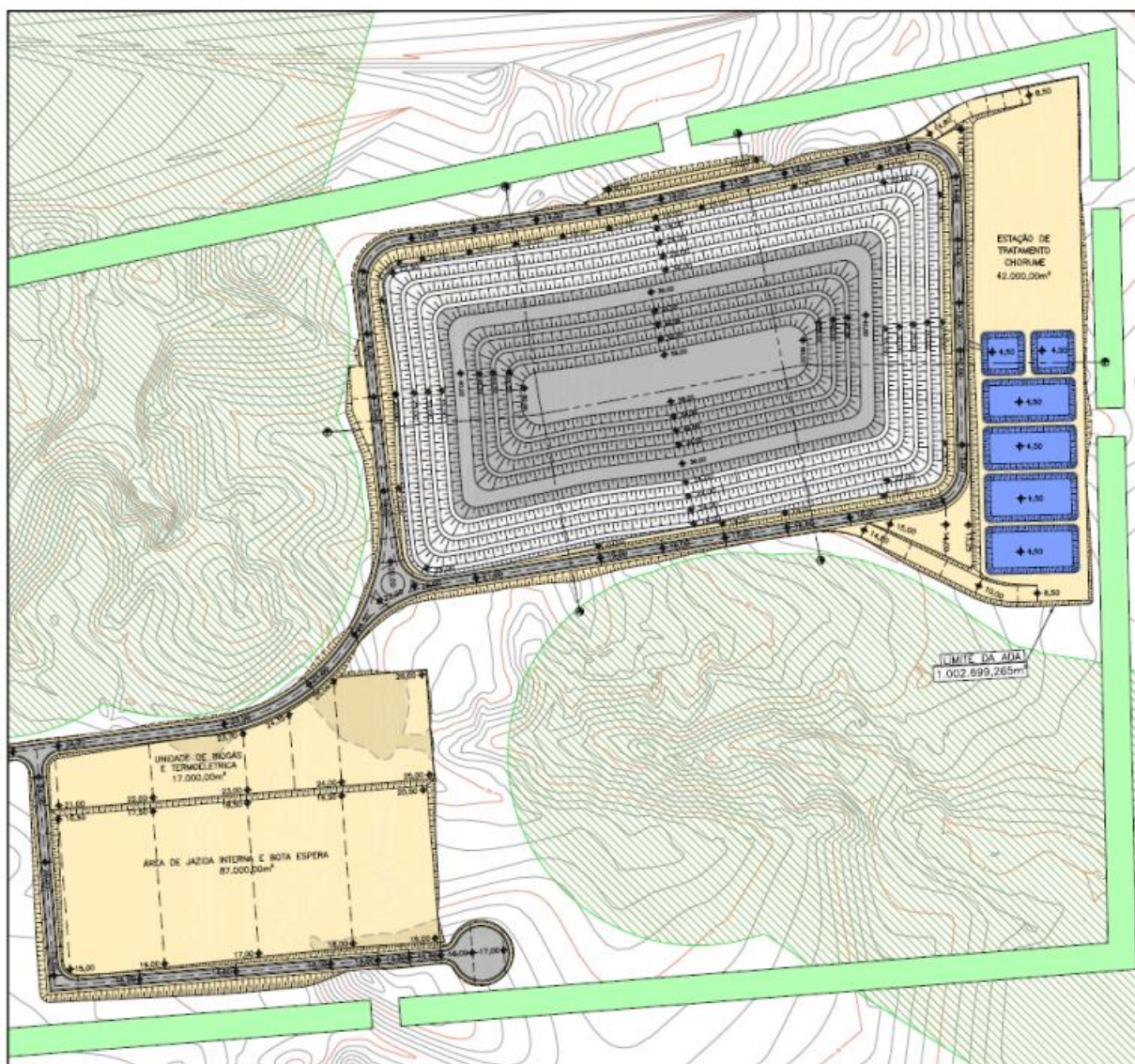


Figura 43. Alçamento etapa 5 – AS-1.

Fonte: Cepollina, 2025

3.4.3.4 Plano de Avanço do Aterro 2 (AS-2)

Assim como no AS-1, o Aterro 2 (AS-2) também foi projetado, a princípio, com quatro etapas ininterruptas de implantação e cinco de operação, com o avanço a partir da Etapa 1 localizada na região nordeste do AS-2, seguindo com a Etapa 2 na região noroeste, daí para a Etapa 3 na região sudoeste, seguindo para a Etapa 4 na região sudeste. A Etapa 5 será somente de operação com o alçamento de 7 (sete) células sobre o maciço sanitário configurado pelas etapas anteriores.

Para a Etapa 1 foi projetada em uma área de aproximadamente 77.200 m², onde serão executadas 6 células de alçamento de resíduos, sendo que a primeira deverá ser alçada até o nível do topo do dique perimetral. A capacidade para disposição de resíduos da Etapa

1 foi estimada em cerca de 1.186.129 toneladas de resíduos que resulta com uma vida útil de operação estimada da ordem de 2,03 anos.

A Etapa 2 ocupará uma área aproximada de 66.100m², onde serão executadas 6 células de alteamento de resíduos nos mesmos moldes da etapa anterior. A capacidade para disposição de resíduos da Etapa 2 foi estimada em cerca de 2.278.207 toneladas de resíduos que resulta com uma vida útil de operação estimada da ordem de 3,74 anos.

Dando sequência ao avanço do AS-2 será implantada a Etapa 3, contemplando uma área da ordem de 79.200m², onde serão alteadas mais 6 células de resíduos com capacidade estimada de cerca de 1.727.337 toneladas de resíduos, resultando com uma vida útil de operação estimada da ordem de 2,96 anos.

Na Etapa 4, subsequente, com área de aproximadamente 70.300m², também serão alteadas 6 células de resíduos, resultando com capacidade de cerca de 1.940.580 toneladas e uma vida útil de operação estimada da ordem de 3,32 anos, conformando um maciço único com plataforma com nível variável, partindo do máximo na porção sul de aproximadamente 55,0 metros, caindo no sentido norte até o nível aproximado de 48,0 metros.

A Etapa 5 corresponde ao alteamento de mais 7 células sobre o maciço de resíduos conformado pelas etapas de 1 a 4, com capacidade estimada para disposição de cerca de 2.118.899 toneladas e com uma vida útil de operação estimada da ordem de 3,63 anos. O alteamento da Etapa 5 contará duas bermas de estabilidade com cerca de 15,0m de largura, sendo a primeira junto ao nível do topo da plataforma conformada pelo alteamento das etapas 1 a 4 e a segunda na berma com nível variável entre as cotas 80,0 m e 73,0 m, a princípio conformada pela décima célula de alteamento, contato a partir do topo do dique perimetral.

Isto posto, o Aterro 2 (AS-2) terá capacidade total estimada para acondicionar cerca de 9.156.227 toneladas de resíduos sólidos em um período de aproximadamente 15,68 anos, como apresentado na Tabela 12, ressaltando que foram utilização dos mesmos parâmetros de demanda, peso específico, percentual de solo de cobertura e percentual recalques atribuídos para o Aterro AS-1.

Tabela 12. Áreas de implantação, quantidades estimadas de resíduos e vida útil de operação por cada etapa do Aterro AS-2.

Etapa	Área de Operação (m²)	Quantidade de Resíduos (ton)	Vida Útil (ano)	Vida Útil Acumulada (ano)
1	77.163	1.186.129	2,03	2,03
2	66.073	2.278.207	3,74	5,77
3	79.258	1.727.337	2,96	8,73
4	70.351	1.940.580	3,32	12,05
5	---	2.118.899	3,63	15,68
Total	292.845	9.156.227	15,68	

Para as estimativas de capacidade de disposição de resíduos e vida útil do Aterro 2 (AS-2) foram considerados os mesmos parâmetros do AS-1, ou seja, demanda média diária de 1.600 toneladas de resíduos, peso específico médio de 1,0 t/m³, percentual de solo de cobertura de 15% e recalques muito conservadores da ordem de 20%.

As figuras a seguir apresentam o Plano de Avanço de implantação e operação de cada etapa do Aterro 2 (AS-2) para a UVS Bujaru.

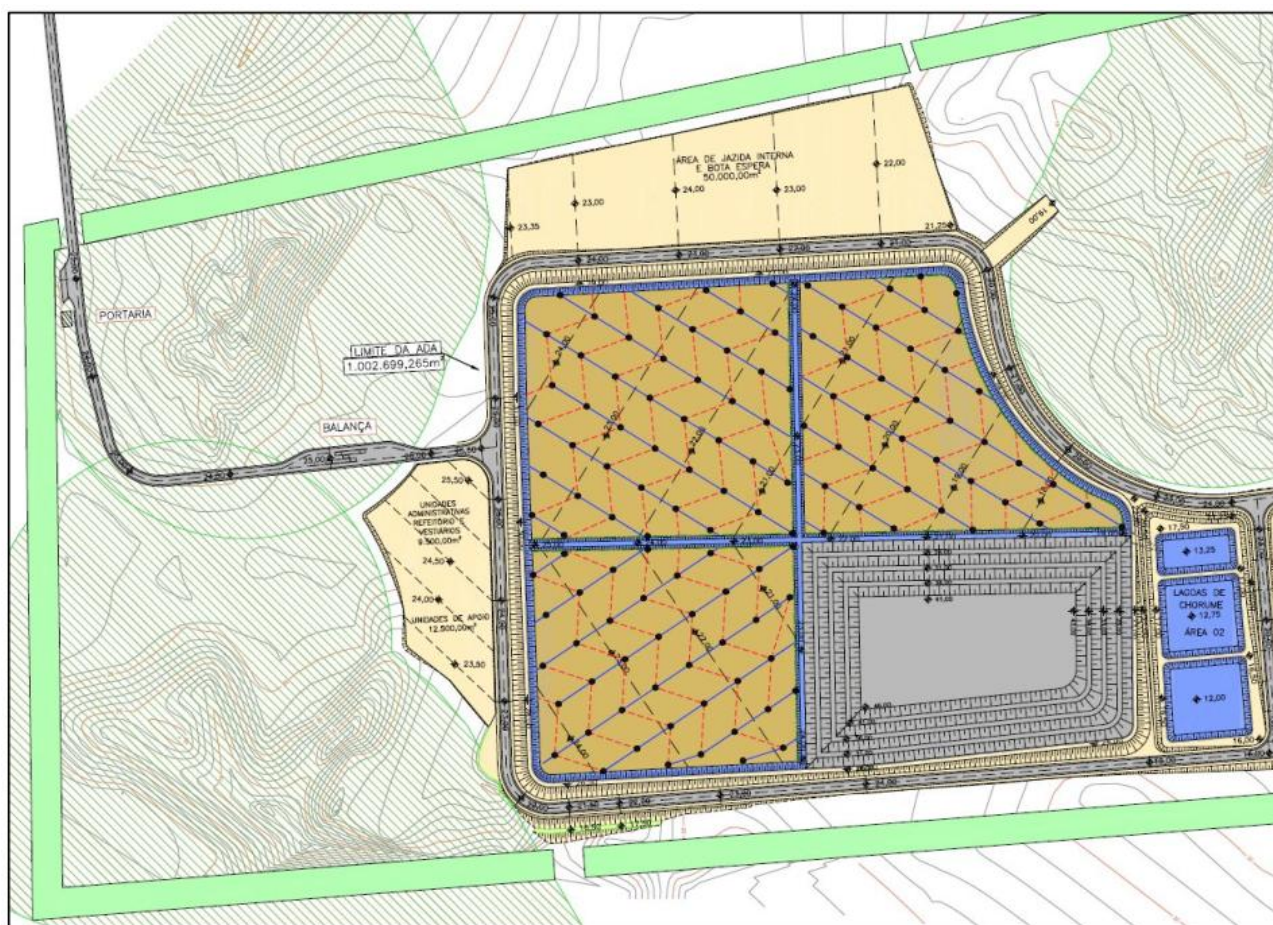


Figura 44. Aloteamento etapa 1 – AS-2.

Fonte: Cepollina, 2025

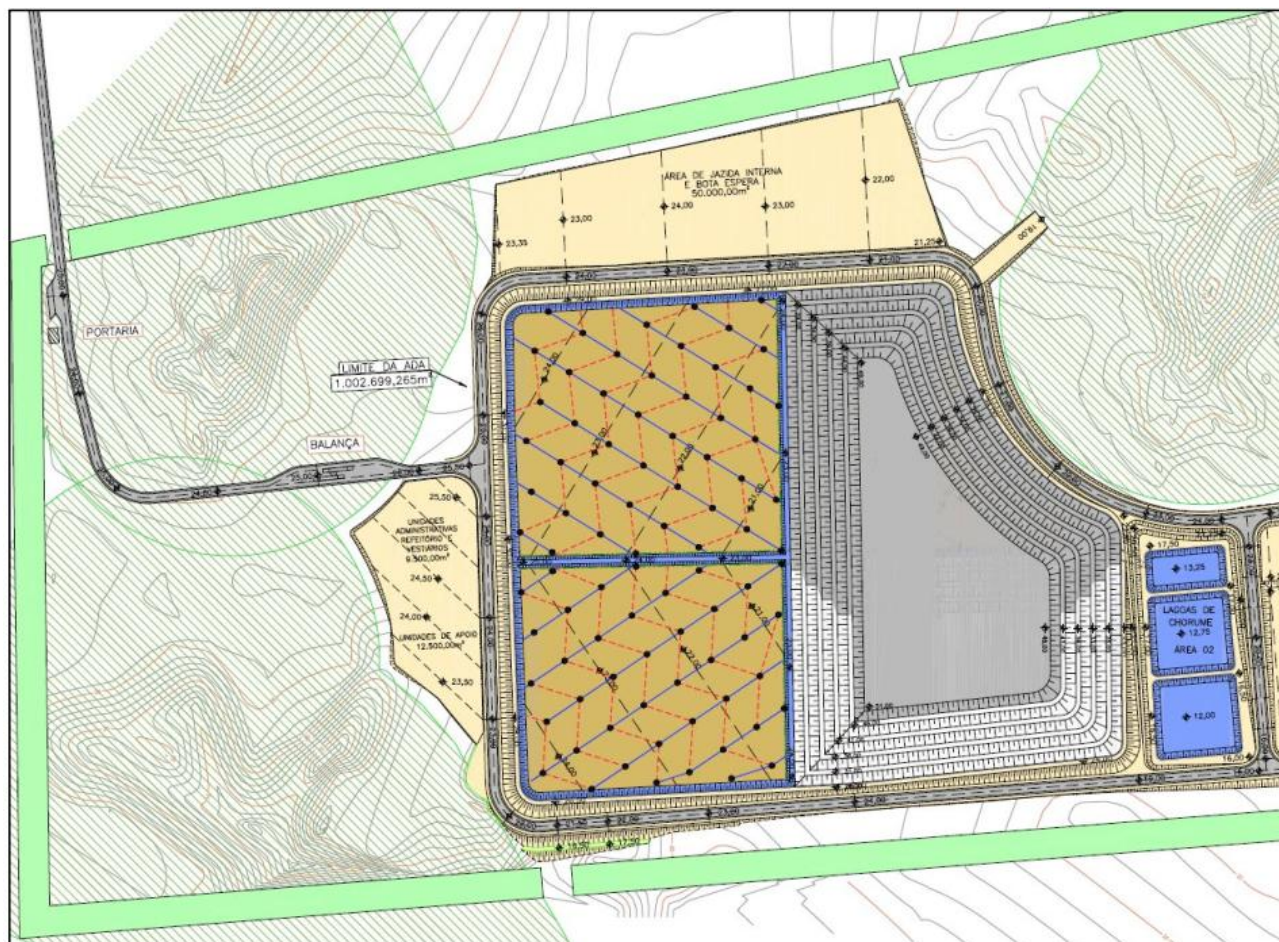


Figura 45. Alçamento etapa 2 – AS-2.
Fonte: Cepollina, 2025

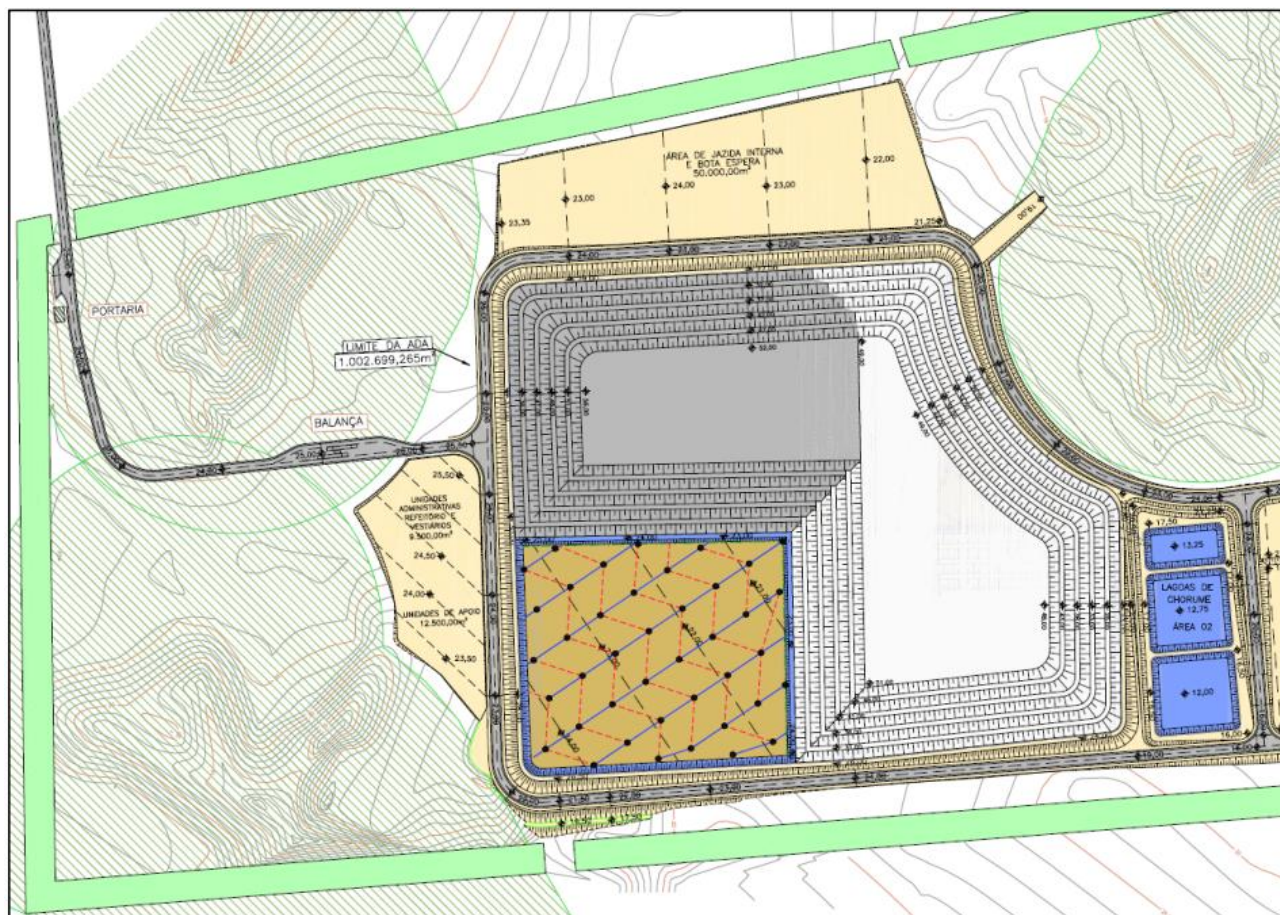
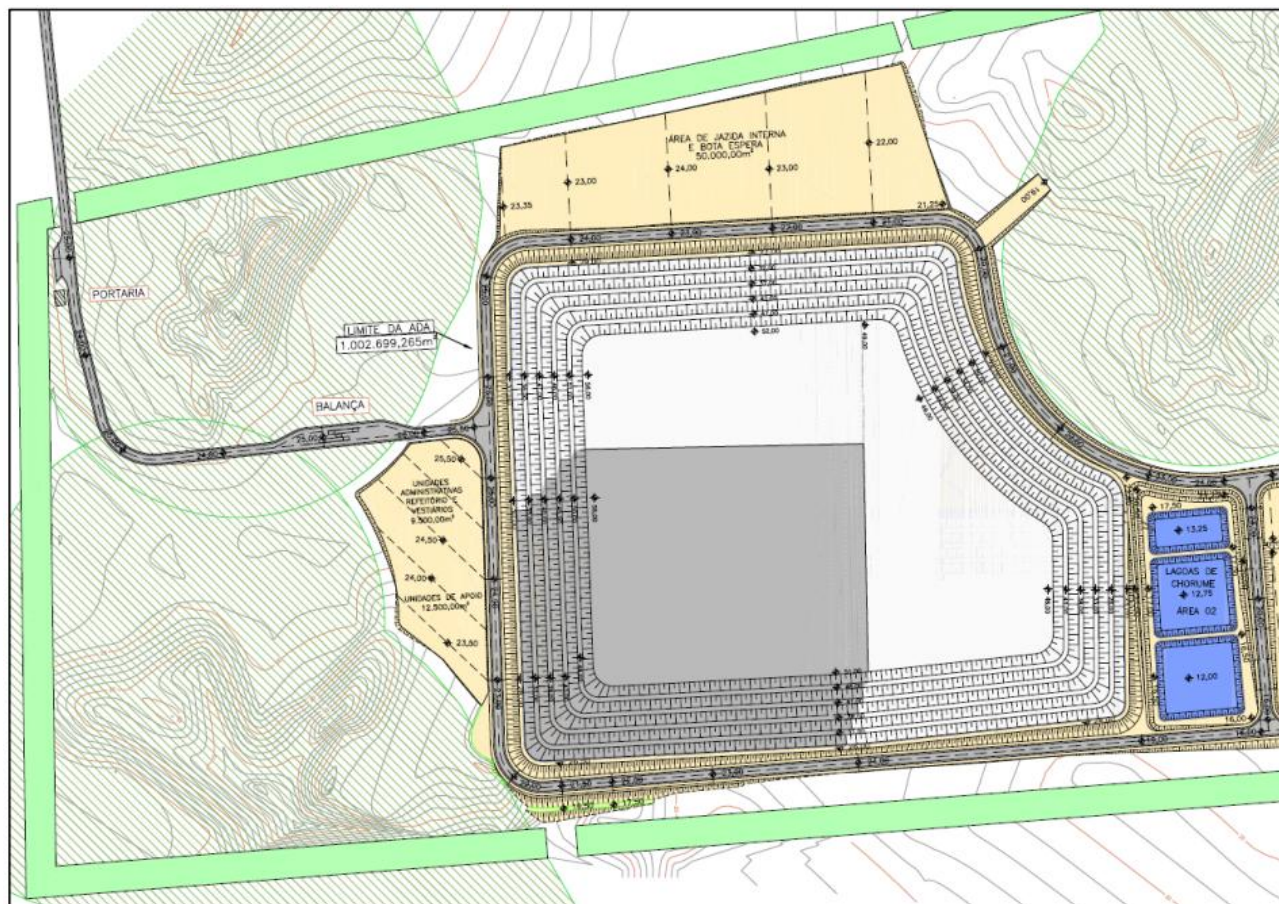


Figura 46. Alteamento etapa 3 – AS-2.

Fonte: Cepollina, 2025



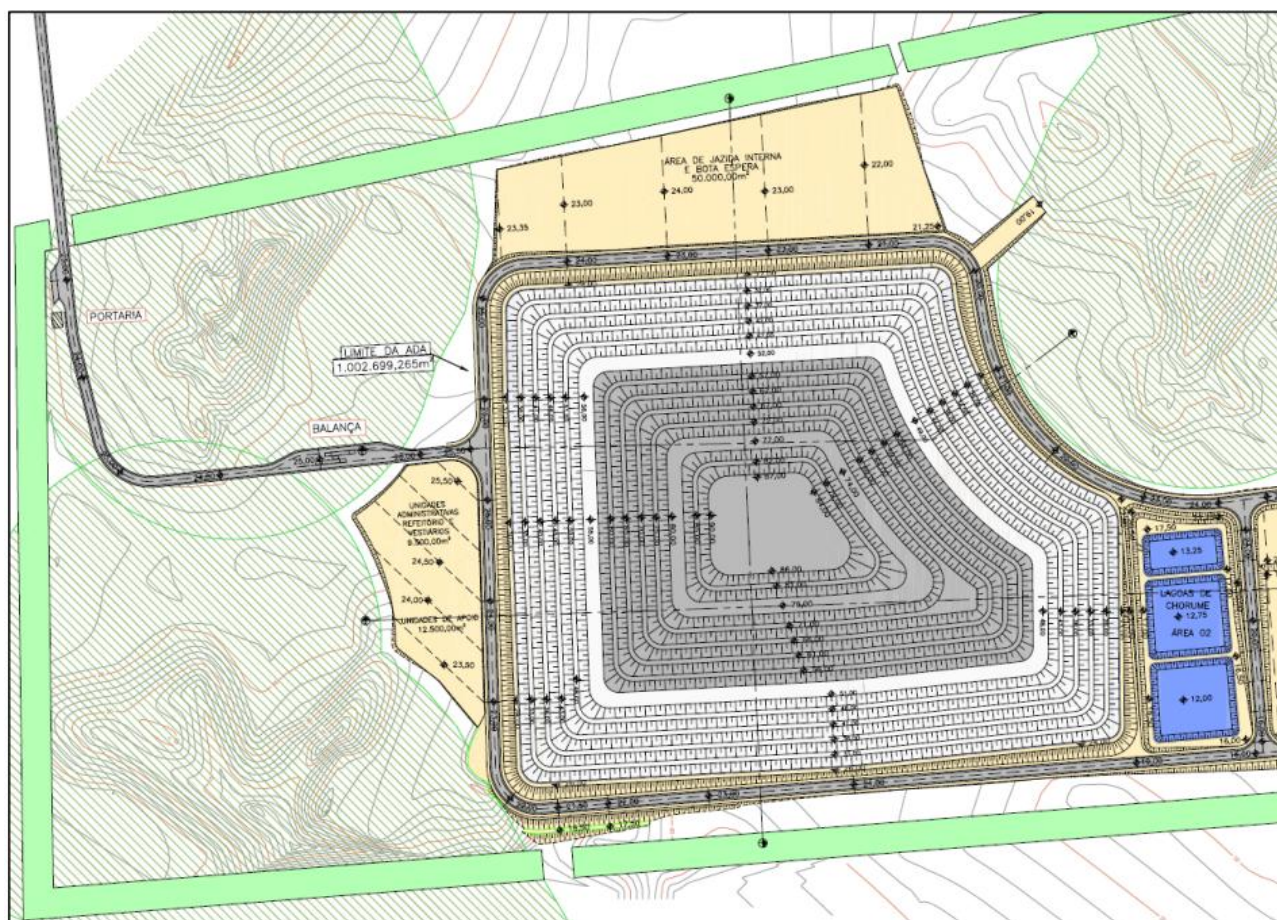


Figura 48. Alçamento etapa 5 – AS-2.

Fonte: Cepollina, 2023

Cabe ressaltar que a capacidade e vida útil da UVS Bujaru foram estimadas a partir da quantidade prevista para o recebimento de resíduos e parâmetros de peso específico, solo de cobertura e de recalque dos resíduos obtidos em outros aterros sanitários em operação no Brasil e poderão ser ratificados ou retificados durante o período de operação da UVS Bujaru, podendo resultar com variações que possam alterar as estimativas de capacidade e vida útil.¹

A seguir, encontram-se descritas as diversas atividades que compõem a etapa de implantação dos aterros preconizados para o empreendimento.

3.4.3.5 Monitoramento Geotécnico e Ambiental

O Plano de Monitoramento Geotécnico e Ambiental parte da premissa básica que a responsabilidade sobre o empreendimento é do empreendedor, bem como pela

¹ Nota: A quantidade prevista é referente ao recebimento dos resíduos brutos, ou seja, não contemplam balanço de massa com prerrogativas de diminuição por políticas públicas ou atividades que não sejam de competência do empreendimento.

instalação e manutenção dos instrumentos necessários para o monitoramento que visam detectar, antecipadamente, eventuais anomalias e propor medidas corretivas para eventuais ocorrências e emergências.

O monitoramento ambiental da operação propriamente dita do aterro tem como objetivo garantir a cobertura dos resíduos com solo de modo a minimizar a geração e dispersão de odores. Desta forma, serão adotadas as melhores práticas de engenharia para garantir o recobrimento dos resíduos com solo e na sua impossibilidade utilizar de materiais, como mantas de sacrifício para garantir seu cobrimento.

Importante salientar que todas as ações de monitoramento para minimização de impactos serão abordadas em capítulo específico, dentro dos Programas Ambientais.

3.4.3.5.1 Sistema de Monitoramento Geotécnico

O monitoramento geotécnico proposto consiste na análise do comportamento pontual e estatístico dos instrumentos instalados, da região de influência de cada etapa e global, com a finalidade de verificar as condições de estabilidade física do maciço de resíduos sólidos depositados.

O monitoramento proposto neste estudo justifica-se por permitir o acompanhamento das condições de estabilidade geotécnica do maciço, possibilitando a prevenção de ocorrências que possam provocar riscos aos trabalhadores, prejuízos materiais, interrupções na operação, entre outros.

O Plano de Monitoramento Geotécnico tem o objetivo de garantir a manutenção da estabilidade geotécnica do maciço de resíduos sólidos depositados. As medidas previstas permitem identificar indícios de instabilidade, proporcionando oportunidade de intervenção para o restabelecimento da estabilidade, prevenindo acidentes, riscos ambientais e prejuízos materiais.

Para o monitoramento, acompanhamento e controle geotécnico da UVS Bujaru foi desenvolvido o Plano de Monitoramento Geotécnico com a instalação e manutenção dos instrumentos de monitoramento por hora definidos piezômetros e marcos superficiais. No decorrer da operação do aterro, dependendo da necessidade e avaliação da equipe técnica responsável, outros equipamentos de controle poderão ser instalados.

3.4.3.5.2 Instrumentos e sistemática

3.4.3.5.2.1 Piezômetros

Os piezômetros deverão ser instalados conforme descritos a seguir, sendo dotados de câmara dupla ou câmara simples.

Cada instrumento deverá consistir com dois tubos concêntricos de PVC, com abertura no extremo do tubo interno, de maneira que o chorume afluyente das variações piezométricas na câmara drenante dirija-se ao tubo interno por vasos comunicantes, e o gás afluyente pela mesma câmara suba para o espaço intersticial entre o tubo externo e interno.

O topo do tubo interno é mantido aberto garantindo-se pressão atmosférica na superfície da coluna de chorume e o espaço anelar entre o externo e o interno é vedado no topo, com a instalação de registro no tubo externo permitindo a leitura das pressões de gás.

Desta maneira, na situação de registro fechado, a instalação de manômetro no registro permite a leitura direta desta pressão de gás e a introdução do sensor elétrico ("piu") a profundidade da lâmina de chorume no tubo interno (com consequente avaliação imediata da coluna e pressão do sistema chorume e gás).

Em determinadas regiões a dissipação da pressão de gás é lenta com o rebaixamento lento da coluna de chorume, em função das elevadas pressões do gás e da heterogênea condição de permeabilidade do maciço.

Ao final da instalação do equipamento deverá ser elaborado um relatório com uma descrição técnica do perfil de perfuração e do perfil de instalação.

No topo de cada instrumento deverá ser instalada uma caixa de alvenaria, ou outro elemento similar, para proteção do instrumento, de forma de resguardar o equipamento contra eventuais ocorrências que possam vir a danificar o instrumento.

Em função das eventuais deformabilidades do maciço, os instrumentos instalados deverão ser rotineiramente auditados em termos de integridade, pois em decorrência da amplitude dos deslocamentos, poderá haver o seccionamento do instrumento ou perda de funcionalidade.

A princípio, os piezômetros com duplo sifão mantêm-se íntegros em função dos tubos concêntricos permitirem o deslocamento relativo sem prejuízo ao funcionamento do sistema.

Uma medida importante a se levar em consideração é a necessidade de medida da altura saliente do piezômetro ("pescoço") que, em realidade, deverá aumentar ao longo do tempo em função dos recalques do maciço. Esta medida deverá ser levada em consideração como correção dos cálculos de pressão, face à variação da altura da câmara.

3.4.3.5.2.2 Marco superficial

Consistirá na execução e instalação de marcos de concreto conforme detalhes apresentados e nos locais indicados no projeto.

Os marcos superficiais, estando locados em pontos estratégicos de máximos deslocamentos, poderão sofrer em alguns casos danos por descalçamento, passagem de equipamentos construtivos ou de descarga etc.

Assim, durante o desenvolvimento de alteamentos subsequentes deverá ser necessário a efetivação do remanejamento dos instrumentos instalados, em local a ser avaliado pelo plano de monitoramento, de maneira a preservar a análise do histórico do comportamento do maciço.

Nos locais onde possa ter havido deslocamentos excessivos, seccionamentos, danos por tráfego etc., tais instrumentos deverão ser prontamente restituídos, devendo ser levantados todos os dados cadastrais para recomposição da análise pontual do comportamento do maciço.

Assim, à manutenção do sistema se agrega a sistemática necessária de implantação de instrumentos complementares sempre que diagnosticados necessários pela análise das condições do aterro, ou no preparo da sistemática de monitoramento para eventos críticos chuvosos.

O monitoramento aqui proposto abrange as seguintes atividades:

- Definição dos pontos para instalação de piezômetros e marcos superficiais;
- Instalação de piezômetros e marcos superficiais;
- Realização de leituras periódicas de pressões de gás e chorume a partir dos piezômetros;
- Realização de leituras periódicas de deslocamentos e recalques dos marcos superficiais e medidores de recalque;
- Realização de vistorias periódicas no aterro com mapeamento de superfície das principais feições condicionantes, com anotação em planta específica e elaboração de relatório fotográfico;
- Acompanhamento da implantação de novos instrumentos.

A frequência de realização das leituras nos instrumentos deverá ser, no mínimo, mensal, sendo que esta periodicidade poderá ser reduzida nos períodos de chuvas intensas ou outros eventos que tornem necessária a leitura dos instrumentos de monitoramento e sua análise em períodos menores. Nesses casos, as vistorias deverão ser efetuadas em menores intervalos, podendo chegar a ser até diárias em períodos críticos.

A partir dos dados coletados efetuar-se-á a análise do comportamento pontual e estatístico para cada instrumento, região e global; através da compilação das informações em planilhas de computador específicas e da elaboração de análises de estabilidade das regiões de maior relevância.

3.4.3.6 Sistema de Monitoramento Ambiental

Para o monitoramento, acompanhamento e controle ambiental do empreendimento foi desenvolvido o Plano de Monitoramento Ambiental. Esse plano visa detectar variações na qualidade da água do corpo receptor dos efluentes que possam ser causadas pelas atividades do aterro tais como: lançamento de águas do sistema de drenagem superficial (águas pluviais).

3.4.3.6.1 Monitoramento das águas subsuperficiais

Tendo em vista que a UVS Bujaru será dotada de sistema de impermeabilização de base e de sistema de drenagem de líquidos percolados, as áreas das células de disposição de resíduos não deverão sofrer qualquer alteração de sua qualidade.

O plano também se aplicará na busca de variações na qualidade das águas subterrâneas da região do entorno dos Aterros AS-1 e AS-2, a fim de garantir a manutenção dos padrões de qualidade dessas águas e permitir a adoção de medidas corretivas em caso de eventual verificação de indícios de contaminação em decorrência das atividades de implantação e operação.

Para atestar o desempenho destes sistemas de proteção ambiental, a qualidade das águas subterrâneas (sob influência do Aterro) deverá ser monitorada em intervalos espaçados de amostragem com periodicidade trimestral.

Este monitoramento terá como objetivo acompanhar, ao longo do tempo, os valores de parâmetros de amostras coletadas, no sentido de criar um banco representativo destes dados. No caso de eventuais resultados anômalos, uma possível causa poderá ser identificada e analisada, para que medidas gerenciais possam ser tomadas sobre o problema em tempo hábil, de forma eficiente.

A amostragem dos poços de monitoramento instalados é realizada com o objetivo de caracterizar o *background* da área antes da instalação do empreendimento a fim de obter as características químicas da água subterrânea. Os poços de monitoramento instalados, inicialmente com o objetivo de avaliar a avaliação potenciométrica, poderão ser utilizados para esse fim desde de que em condições potenciométricas que permitirão a coleta de amostras de água subterrânea com a utilização da metodologia de baixa vazão.

3.4.3.6.2 Monitoramento das águas superficiais

Tendo em vista que a UVS Bujaru será dotada de sistema de drenagem superficial de águas pluviais, com adequados componentes de retenção de sólidos e, considerando, ainda, a execução de cobertura diária e definitiva dos resíduos dispostos com geomembrana de

PEBD, as águas superficiais próximas à área do empreendimento não deverão sofrer qualquer alteração de sua qualidade.

Para o monitoramento das águas superficiais, todas as medidas incorporadas ao projeto da UVS Bujaru foram elaboradas para a proteção do meio ambiente circundante, sendo prevista a coleta e encaminhamento do chorume para tratamento e sistema de drenagem pluvial, entre outras. O monitoramento dos parâmetros de qualidade das águas superficiais irá demonstrar a efetividade dessas medidas e permitir a adoção de eventuais medidas corretivas.

Este monitoramento terá como objetivo acompanhar, ao longo do tempo, os valores de parâmetros de amostras coletadas, no sentido de criar um banco representativo destes dados. No caso de eventuais resultados anômalos, uma possível causa poderá ser identificada e analisada, para que medidas gerenciais possam ser tomadas sobre o problema em tempo hábil, de forma eficiente.

Ao final dos trabalhos de amostragem e análises referentes a uma campanha, o laboratório deverá emitir um relatório final contendo os laudos de análise de cada amostra e, possivelmente, uma tabela com o resumo dos respectivos resultados, fichas de campo, fotos e croquis.

3.4.4 USO FUTURO DA ÁREA

A proposta de uso futuro da área da UVS Bujaru, prevista nestes estudos, é, por ora, uma área para utilidade pública para fins pertinentes na ocasião.

Evidentemente essa alternativa, considerando que tal aproveitamento só poderá ser realizado após a total estabilização subsequente geotécnica e de emissão de chorume e biogás, incluindo a interrupção de seu aproveitamento, observados através dos Programas de Monitoramento Geotécnico e Ambiental, deverá ser reapreciada.

3.5 DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE BIOGÁS

O Biogás é gerado pela decomposição de matéria orgânica em ambiente anaeróbio possui como principais componentes de sua composição dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), sendo o metano um gás de efeito estufa (GEE), que contribui para as mudanças climáticas na Terra.

O sistema de tratamento de biogás a ser instalado tem o objetivo de promover importantes benefícios ambientais no âmbito mundial, dentro e no entorno da UVS Bujaru

Em âmbito mundial, a coleta e combustão do gás de aterro através de um sistema ativo (forçado) de coleta e queima de gás de aterro tem por objetivo reduzir as emissões de GEE e mitigar as mudanças climáticas. Cabe ressaltar, que um aterro sanitário é uma medida de mitigação para a emissão de gases do efeito estufa uma vez que o cenário nacional é de 39% de locais com destinação inadequada (ABRELPE, 2022) com gases sendo emitido para a atmosfera sem qualquer controle ambiental.

O gás de aterro contém traços de compostos orgânicos voláteis (COVs), que são poluentes atmosféricos locais e podem causar incômodo à vizinhança devido ao odor. A captura do gás de aterro utilizando um sistema ativo (forçado) de coleta e sua combustão controlada em *flare* contribui para redução dessas emissões e do incômodo odor local.

Dentro do maciço de resíduos da UVS Bujaru, haverá redução do risco de ocorrência de incêndios e/ou explosões devido à melhor gestão do gás de aterro.

Para Bujaru e região, serão criadas oportunidades de empregos diretos e indiretos, tanto na fase de construção como na operação do sistema. Além disso, a atividade do projeto será capaz de ser usada como uma iniciativa de demonstração tecnológica em termos de gerenciamento adequado e ambientalmente correto de gás de aterro como parte da operação de um aterro.

3.5.1 JUSTIFICATIVAS PARA USO DA TECNOLOGIA

As técnicas de captação do biogás são muito variadas, sendo utilizadas em função da geometria do local, de suas limitações, da capacidade do depósito e, sobretudo, do método de tratamento do biogás. Estas técnicas de captação requerem uma boa qualidade de cobertura dos resíduos e sistema adequado de drenagem horizontal e vertical do maciço. As instalações devem ser resistentes à colmatação e corrosão e não atrapalhar a operação.

Basicamente, existem duas maneiras de captação do biogás gerado em aterros sanitários: captação passiva e queima direto nos poços ou em *flares* abertos e a captação ativa, com queima em *flare* enclausurado e/ou com aproveitamento energético.

3.5.1.1 Captação passiva e queima direta nos poços

A prática comum no Brasil consiste em uma simples queima do biogás no próprio poço, seja diretamente na boca do tubo de concreto, seja através de queimador de poço.

Nesta concepção, o sistema é dito passivo, pois o biogás sai do aterro pela própria pressão dele, escolhendo então o caminho mais fácil, que é o sistema de drenagem. Os sistemas passivos não utilizam meios mecânicos para aplicar um vácuo aos coletores de gás para coletá-lo e transportá-lo. Em vez disso, os sistemas passivos se valem da pressão positiva gerada dentro do aterro como força propulsora para que o gás seja queimado diretamente nos drenos de gás onde é captado.

Tal prática reduz a emissão de metano gerado e é aplicável para aterros de pequeno e médio porte, sendo suficiente para manutenção da operação segura e eliminação de possíveis odores emanados pela decomposição dos resíduos.

Outra opção de destruição do biogás captado em um sistema passivo é a queima em queimadores do tipo *flare* aberto

A captação passiva e queima em *flare* aberto trata-se de um sistema de simples, cujas principais vantagens são manter a estabilidade do aterro e evitar as emissões de biogás para a atmosfera. Captação por rede de aspiração ativa e queima em *flare* enclausurado

a sistemática de captação ativa e concentração do biogás em um ponto único de destruição garante uma boa qualidade do gás para a sua queima e tem uma eficácia superior às técnicas clássicas de queima, executada diretamente nos poços.

Sistemas de extração ativos usam meios mecânicos para aplicar pressão negativa à rede de coleta de gás, que transporta o gás através da rede de captação, levando-o para um dispositivo de queima centralizada.

Como vantagem, esse sistema apresenta alta eficiência em destruição de emissões poluentes e permite o aproveitamento energético do biogás. Captação por rede de aspiração ativa e queima em motores para geração de energia elétrica

A possibilidade de recuperação energética também foi avaliada técnica e economicamente para ser implementada. Essa tecnologia pode ser viável a depender da idade e quantidade dos resíduos aterrados, assim como condições do mercado de comercialização de energia.

3.5.1.2 Sistema proposto

O projeto aqui proposto abrangerá a coleta de gás de aterro utilizando poços de coleta verticais e trincheiras horizontais, que serão interligados através de uma rede de

tubulação, composta por tubos coletores e conectores de polietileno de alta densidade (PEAD). Através da rede de tubulações o gás de aterro coletado será direcionado para uma instalação, onde será queimado e destruído em um equipamento do tipo *flare* enclausurado de alta temperatura.

O queimador de biogás será do tipo *flare* enclausurado, que assegura a destruição de 99% do metano contido no biogás.

3.5.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO

Na UVS Bujaru o sistema de drenagem horizontal será interligado aos drenos verticais de gases, conforme esquematizado na Figura 49.

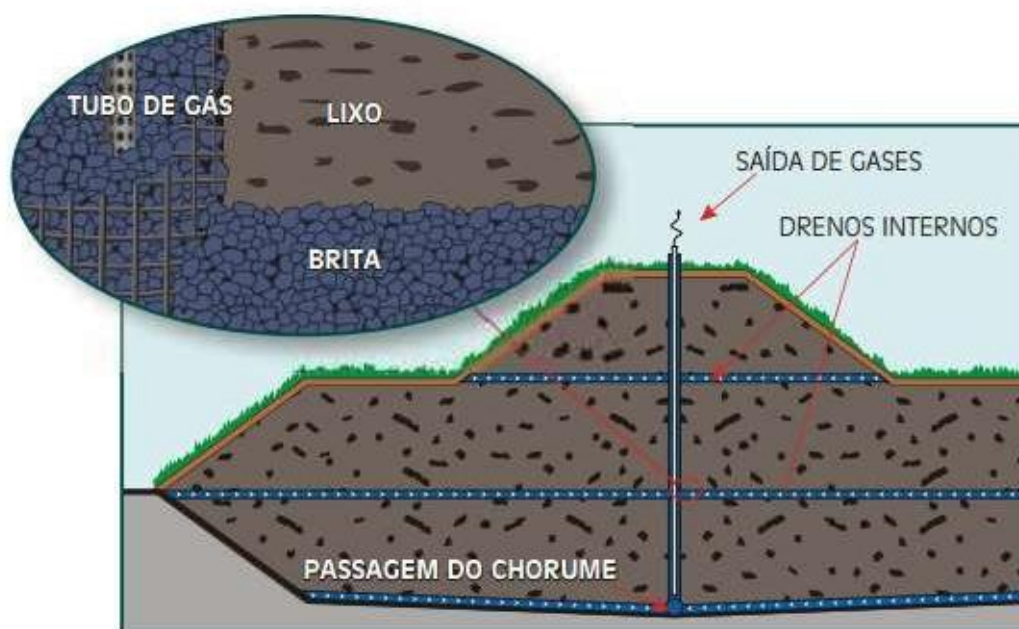


Figura 49. Ilustração do modo de captação de gases.

Em cada camada de células concluída é construído um sistema de drenagem para captação e condução do chorume à base do aterro e posteriormente às lagoas de acumulação de chorume e tratamento. Este mesmo sistema de drenagem de chorume é responsável pela captação de biogás. O corpo do poço é o próprio elemento drenante e é constituído por uma tela soldada, preenchida com pedra e manilhas perfuradas de concreto de 400 mm.

A linha principal de transporte traz o biogás produzido pela decomposição anaeróbia dos resíduos depositados no aterro para a central de aspiração e combustão. Esta central foi dimensionada, a princípio, para iniciar com 2.500 Nm³/h de biogás, em conformidade com a estimativa da vazão de biogás apresentada no item seguinte, ou seja, a quantidade esperada em relação à estimativa de produção com base na quantidade e tipo de resíduos depositados, o qual é estimado em aproximadamente 3.800 Nm³/h no ápice da geração no último ano de vida útil do empreendimento.

Para a estimativa da quantidade de biogás e geração de metano, foi utilizado o método de cálculo *ex ante* com decaimento de primeira ordem, que é recomendado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e reconhecido para projetos de aterro sanitário e crédito de carbono².

A central de aspiração e combustão disporá de todos os requisitos de dimensão e aquisição de dados recomendados e estará preparada para a eventual implementação de equipamentos para recuperação de energia.

3.5.2.1 Características dos equipamentos de sucção e destruição do gás de aterro

A seguir, é descrito resumidamente os principais equipamentos.

Poço para condensado: O tanque do condensado é um equipamento de PEAD, que será enterrado perto da base onde será colocada a planta, onde se coleta o condensado do biogás e onde o condensado vai ser enviado para a bacia de armazenamento de chorume do aterro

Linha de entrada: Os coletores da central são fabricados com tubo de aço inoxidável AISI 304L soldado ao eletrodo. O acoplamento entre os vários coletores é feito por flanges livres UNI 6089 PN10 em alumínio com parafusos de aço. Os coletores são apoiados sobre suportes metálicos feitos com perfis de aço zincado de seção quadrada, montados acima de uma placa de base, através da qual estão ligados com tampões à fundação de cimento. Os coletores estão fixados aos suportes por parafusos de fixação

Demister (desumidificador): fica colocado jusante da linha de entrada, têm a função de separar o condensado presente no biogás e de filtrar o mesmo, no modo de preservar os equipamentos instalados.

Seção de extração e compressão: A partir do coletor principal na saída do *demister*, está o coletor para os *blowers* de 8". A seção de extração e compressão tem dois *blowers*. A pressão de sucção é adequada para coletar o gás até dos poços mais distantes, uma vez que os coletores de transporte de biogás na UVS Bujaru são dimensionados adequadamente com referência a quedas de pressão

Linha para o flare: linha que liga os sopradores ao *flare*. É dotada de uma válvula corta fogo para segurança da operação

² Disponível em <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.

Flare: O biogás extraído do aterro é queimado na unidade de combustão controlada com câmara fechada de alta eficiência de combustão. O flare fornecido tem uma capacidade máxima de 2500 Nm³/h

Equipamentos: Transmissor de pressão relativa, transmissor de pressão diferencial, transmissor de temperatura, sensor do fluxo annubar, sensor da chama piloto, termopar.

Painel de comando: A central está dotada com um painel geral de comando, controle e administração das lógicas de início, operação e alarme, colocado na sala de controle

Painel de análise: Junto ao quadro geral de comando está colocado o quadro de análise do biogás e da fumaça. Esse painel contém um analisador do percentual de oxigênio e metano no biogás e na fumaça de saída, para garantir a operação segura e eficiência na destruição do gás de aterro.

Supervisório: Na sala de controle está colocado um computador que tem o programa supervisório. O supervisório é a interface entre o PLC e o operador da planta. Usando o supervisório, o operador pode monitorar os dados da planta, monitorar os alarmes ativos e passados e mudar os parâmetros de operação da planta mesma. O supervisório também grava os dados da planta e gera relatórios diários em Excel, com dados gravados cada minuto.

3.5.2.2 Vida útil do equipamento

Observados os planos de manutenção preventiva e corretiva, a vida útil dos equipamentos é de 30 anos, o suficiente para manter a sucção e destruição do gás gerado na UVS Bujaru até que o resíduo aterrado já tenha sido decomposto e a geração de biogás tende a zero.

3.5.2.3 Rede de poços e drenos e área de influência

A UVS Bujaru contará com poços de captação passiva e queima local de gás de aterro. Os poços são construídos com uma tela soldada, preenchida com pedras tipo rachão, que ficam envoltas em manilhas perfuradas de concreto de 400 mm.

A área de influência de um poço é definida como a distância entre o centro do poço até um ponto onde o gradiente de pressão aplicada pelo soprador se aproxima de zero.

O raio de influência (ROI) pode variar de 20 a 100 m, dependendo das condições de aterramento dos resíduos. Os fatores mais relevantes são:

- ✓ **Tipo de resíduo;**
- ✓ **O grau de compactação de resíduos;**
- ✓ **Taxa de geração do biogás;**
- ✓ **Profundidade do aterro;**

✓ **Teor de umidade do gás.**

Para a UVS Bujaru, com altura média do aterro de 40 metros, o ROI é calculado como:

$$ROI_{min} = 1,25 \times 40 = 50 \text{ m}$$

$$ROI_{max} = 2,5 \times 40 = 100 \text{ m}$$

Assim, o raio de influência dos poços na UVS Bujaru varia de 50 a 100 m.

3.5.3 FASE DE IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE BIOGÁS

As etapas da implantação da Unidade de Queima Centralizada de Biogás da UVS Bujaru compreendem:

- **Obras Civas da Central de Biogás;**

Este item compreende o projeto executivo das obras civis, preparação do terreno de construção, realização da base de concreto para a central, construção do edifício (sala de controle e escritório), Realização obras para subestação/linha MT, Rede de PEAD para transporte de biogás até a nova central, Alimentação elétrica para o painel de controle da central de biogás, Obras civis para auxiliares.

- **Implantação da Central de Biogás;**

Este item compreende a Preparação desenhos básicos das obras civis para a central de queima, Aquisição, fabricação de materiais, Pré-fabricação tocha, coletores aço inox, painéis, Instalação/Montagem mecânico, Instalação/Montagem elétrico e pneumático.

- **Testes da Central de Biogás**

Os testes para a central de Biogás compreendem *Cold tests* e Testes Operacionais para a inicialização definitiva da Central.

3.5.3.1 Cronograma de instalação

A instalação dos equipamentos de captação ativa e destruição do gás de aterro, não deverá acontecer antes dos 3 anos iniciais de operação do empreendimento, tempo pelo qual é necessário o recebimento de uma quantidade de resíduos que gere gás na quantidade e qualidade necessária para estabilização do sistema.

3.5.4 FASE DE OPERAÇÃO DA UNIDADE DE BIOGÁS

3.5.4.1 Sistema de captação e destruição do gás de aterro

Os equipamentos a serem instalados possuem as seguintes características:

3.5.4.1.1 Central de Aspiração e Combustão (CA)

A central de aspiração está dimensionada para uma vazão de 2.500 Nm³/h, será dotada de todos os instrumentos para medição e aquisição de dados (medidor de fluxo capaz de ler a vazão máxima de 2.500 Nm³/h). A instalação de aspiração e combustão será composta por:

- ✓ **Coletores de conexão para as linhas primárias;**
- ✓ **Separador principal de condensado;**
- ✓ **Sistema de medida da vazão total;**
- ✓ **Aspiradores multi-estágios para 2.500 Nm³/h;**
- ✓ **Instrumentação de medida e controle;**
- ✓ **Coletor de ligação à tocha;**
- ✓ **Tocha de combustão do biogás para 2.500 Nm³/h;**

3.5.4.1.1.1 Coletores de Conexão para as Linhas Primárias

O coletor principal de transporte de biogás em PEAD, proveniente do aterro, será ligado no final por um separador de condensado, feito de PEAD. Os coletores de conexão para as linhas primárias serão feitos em aço inox. O separador será unido a um coletor para regulagem e monitoramento de aço inoxidável, que terá as funções descritas a seguir:

- ✓ **Interceptação do coletor principal a ele conectado;**
- ✓ **Regulação manual do coletor;**
- ✓ **Medição da pressão com manômetro;**
- ✓ **Ponto para análise da mistura de biogás com analisador portátil.**

3.5.4.1.1.2 Separador Principal de Condensado

O separador de condensado será feito em aço inox e composto por:

- ✓ **Filtro coalescente feito com malha em aço inox;**
- ✓ **Tampa superior com parafuso, passível de inspeção para a manutenção e substituição periódica do filtro;**
- ✓ **Ponto de descarga do condensado, dotado de válvula, para conectá-lo ao poço de acumulação.**

3.5.4.1.1.3 Aspiradores Multiestágio

Depois do separador de condensado principal, serão posicionados dois aspiradores centrífugos multiestágio dimensionados para a vazão de 2.500 Nm³/h, com a depressão

idônea para uma aspiração eficaz do aterro, de quem um será a reserva. O aspirador terá vedações para o gás, em particular nos bancos de rolamentos, e será revestido de forma a garantir a propriedade total de vedação. Para proteger contra possíveis explosões, a câmara de compressão será protegida por um anteparo metálico para a retenção de partes que podem ser projetadas.

Motor elétrico será conectado ao ventilador com engrenagens antichama e com um cárter de proteção para as correias, instalado na base comum. Nas bocas de aspiração e refluxo serão posicionadas juntas antivibração de borracha. Para controlar o aquecimento do ventilador será colocado, sobre o coletor de refluxo do biogás, uma termo resistência, com uma escala de funcionamento de $0 \div 100^{\circ}\text{C}$, capaz de interromper o funcionamento do motor a temperaturas superiores a 80°C .

3.5.4.1.2 Tocha de Combustão da Estação de Biogás

A quantidade de biogás extraída do aterro será queimada em uma unidade de combustão controlada com câmara fechada de alta eficiência de combustão (Será instalada uma unidade de combustão dimensionada para a vazão de $2.500 \text{ Nm}^3/\text{h}$. O combustor é constituído interiormente por um cilindro de aço inox com módulos de fibras cerâmicas refratárias, que garantem o desempenho esperado. O combustor terá de conter totalmente a chama. A regulação automática da combustão acontecerá em função da temperatura de combustão, medida por um termopar dentro da câmara de combustão, em contato com a chama. O sensor comandará a regulação de uma veneziana motorizada, para a vazão do ar combustível necessário.

A temperatura de combustão em exercício será maior que 850°C , para garantir a completa combustão do metano; caso a temperatura de combustão alcance o valor de alarme programado, (ex. 1200°C), será ativado o sinal de alarme por alta temperatura. Na parte superior da câmara de combustão será instalado um outro termopar para medir continuamente a temperatura dos fumos de combustão. A análise dos fumos de combustão, relativa às concentrações de metano (ppm) e oxigênio (% vol), é um parâmetro adquirido e memorizado continuamente de acordo com as disposições da UNFCCC para calcular a eficiência de combustão.

O combustor será dotado de uma chama piloto sempre acesa, supervisionada por uma fotocélula UV. O acionamento da chama piloto acontecerá por um eletrodo ligado à rede elétrica. Caso a chama piloto se apague (supervisionado pela fotocélula UV), o fluxo de biogás será fechado e se executará uma sequência de acionamento da chama piloto. Na linha de alimentação da chama piloto será instalada uma válvula ON-OFF de comando elétrico, que administrará tal procedimento de segurança. Só depois de ter verificado a presença da chama piloto será reativado o fluxo de gás principal. Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)

O tratamento de chorume da UVS Bujaru, seguirá a rota de tratamento físico-químico biológico, por lodos ativados.

O tratamento primário, refere-se a um processo de separação físico-química e um de *stripping* de amônia. O tratamento secundário, tem em sua composição reatores de lodos ativados para oxidação biológica da matéria orgânica e nitrogênio amoniacal residual. Além disso, o tratamento terciário é responsável pelo polimento do efluente através de nanofiltração. Este sistema visa tratar o efluente de forma eficiente, com a finalidade de atender os requisitos nos parâmetros da legislação aplicável CONAMA 430/11. Os processos de separação físico-química e oxidação biológica, produzem lodos que são desaguados em decanter centrífugo e destinados de acordo com sua classificação com base na norma NBR 10.004/04.

3.5.4.1.3 Descrição da Usina Térmica

A característica técnica básica da tecnologia é o uso do biogás da UVS Bujaru para a geração de energia elétrica.

O biogás é um gás de efeito estufa e o objetivo desse projeto é utilizá-lo para a geração de energia elétrica limpa renovável contribuindo para limpar a matriz energética brasileira.

Será feita a instalação de uma rede de captação de biogás, tratamento desse biogás e a utilização em um motor de módulos de geração de capacidade instalada de 1 MW. Essa energia será utilizada internamente e também conectada em uma rede da concessionária local, como um autoprodutor (por exemplo)

O funcionamento do sistema tem início com a instalação da rede de captação do biogás da UVS Bujaru por meio de drenos verticais e horizontais que o conduzem para a área de captação e tratamento de biogás. Nessa área será feita a limpeza e a desumidificação do biogás para a retirada de impurezas presentes e potencialmente comprometedoras da eficiência do sistema e da vida útil dos equipamentos, principalmente dos motores geradores.

O condensado retirado com a desumidificação do biogás é enviado para a lagoa de tratamento de chorume da UVS Bujaru.

A segunda etapa trata-se da geração de energia elétrica em si. O biogás passa para o grupo de motor gerador que utiliza o biogás como combustível na combustão interna, com base no Ciclo de Otto. No gás de escape, são liberados gases resultantes do processo de combustão, basicamente óxidos de carbono e óxidos de nitrogênio – que, devido ao seu caráter pouco prejudicial, é liberado na atmosfera sem demais intervenções.

Haverá também a instalação de um *flare* para a queima do biogás excedente, ou seja, o biogás que não foi direcionada para a geração de energia, caso necessário.

A terceira e última etapa do sistema é a conexão da energia elétrica dos motores geradores na rede elétrica da concessionária local.

3.6 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Inicialmente, devido ao cronograma de execução e à necessidade de operação imediata, o efluente bruto será destinado ao Centro de Tratamento de Resíduos de Guamá (CTPR Guamá), localizado em Marituba, que já possui outorga e capacidade técnica para realizar o tratamento inicial dos efluentes.

Contudo, após a instalação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da UVS Bujaru, esta passará a ser utilizada, e a respectiva outorga prévia para lançamento de efluente tratado junto à Agência Nacional das Água (ANA) foi solicitada via processo nº 02502.000379/2025.

A ETE estará localizada no empreendimento conforme ilustrado na Figura 1. Configuração geral do empreendimento.

3.6.1 DIMENSIONAMENTO DA ETE

A ETE estará dimensionada de forma modular para atendimento da vazão projetada de chorume de acordo com a projeção estimada de chorume apresentada no item 3.4.2.5 – Sistema de Drenagem de Chorume na Fundação. Desta forma, considera-se uma vazão de tratamento de 960m³/dia como final do AS-02. Sendo sua implantação realizada de forma modular, respeitando a vazão crescente de geração de efluentes do empreendimento.

3.6.2 FASE DE IMPLANTAÇÃO DA ETE

As etapas da implantação da ETE da UVS Bujaru compreendem:

3.6.2.1 Obras Civis da ETE

Este item compreende a construção das estruturas da ETE, de acordo com o projeto executivo, onde prédios, tanques e bases serão implantados para que se possa então ser realizada a etapa de montagem elétrico-mecânica.

3.6.2.2 Implantação da ETE

Este item compreende a toda a parte de instalação de equipamentos, redes hidráulicas e eletromecânicas que permitam o funcionamento e integração de todas as etapas de tratamento da ETE. Nessa etapa também acontecem o provisionamento de insumos e alguns testes atrelados à estes. Os programas ambientais a serem atendidos nessa fase estão discutidos ao longo desse estudo.

3.6.2.3 Comissionamento e testes da ETE

O comissionamento ocorrerá por partes, sendo o principal o sistema biológico. Haverá testes físicos quantitativos de vazão e estanqueidade e os testes qualitativos ocorrerão após o comissionamento de todas as etapas unitárias e as mesmas estiverem em marcha para a inicialização definitiva da ETE.

3.6.2.4 Cronograma

A instalação da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) ocorrerá após um período de avaliação da geração de chorume proveniente da etapa 1 do aterro sanitário. Serão realizados estudos de viabilidade após um período de avaliação de aproximadamente um ano, contado a partir do início da operação do aterro sanitário da UVS Bujaru. Esse período de avaliação é necessário para monitorar a geração de chorume, permitindo a coleta de dados sobre suas características, qualidade e volume. Com base nessas informações, será elaborado um estudo de viabilidade técnica e econômica, que fornecerá subsídios para o dimensionamento adequado da ETE e a definição de um cronograma de implantação definitivo.

A operação da ETE só será iniciada após a conclusão desse estudo e a implantação do sistema, considerando o volume e as características do chorume gerado. Para garantir a gestão adequada do tratamento de efluente na ETE, serão necessárias implantar medidas de controle e contingência, que deverão ser previstas e implementadas na sua fase pré operação, assegurando que não ocorram intercorrências relacionadas à qualidade do tratamento e operação do sistema.

3.6.3 FASE DE OPERAÇÃO DA ETE

O cenário proposto na Figura 50, segue a composição das Estações de Tratamento de Efluentes implantadas no Grupo Solví, com tratamento físico-químico para a fase sólida suspensa e metais em solução; extração gás-líquido para remoção de amônia e oxidação biológica subsequente e adicionalmente, pós-tratamento para polimento do efluente tratado.

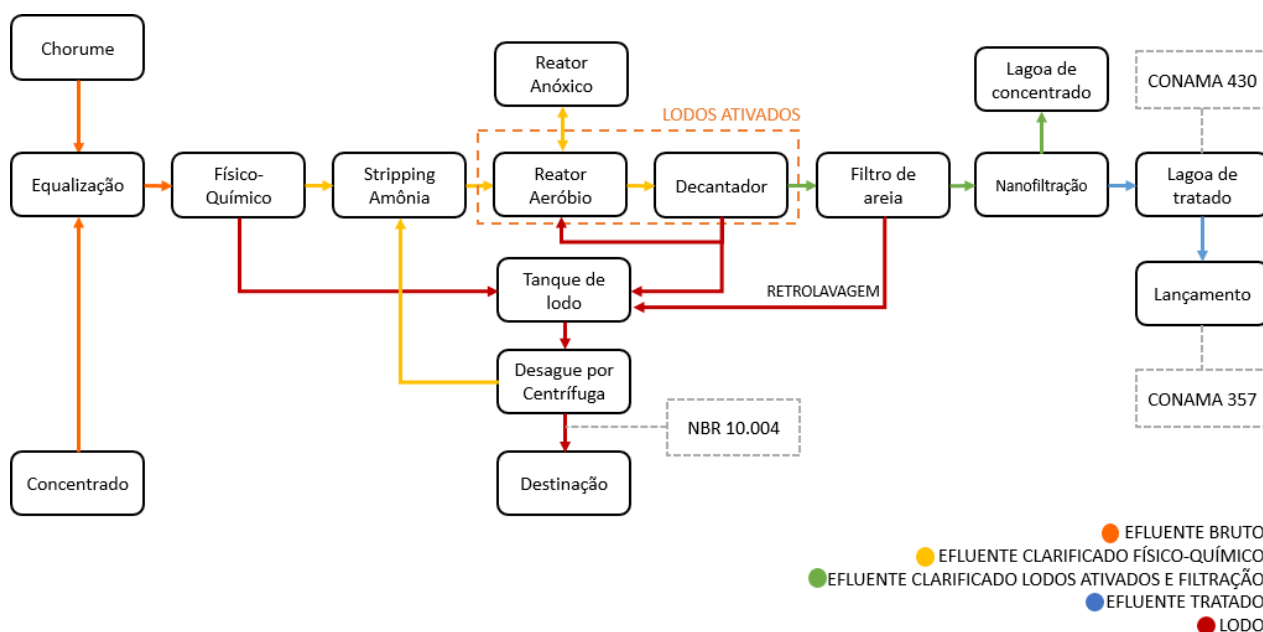


Figura 50. Fluxograma contendo a sequência de operações e processos propostos para o sistema de tratamento de efluentes da UVS Bujaru.

3.6.3.1 Equalização

A equalização é um processo necessário para tornar a vazão e as cargas de entrada de um processo de tratamento de efluentes mais constantes, evitando picos de cargas nos processos, possibilitando maior controle operacional e proteção da biota do processo biológico. Nesta etapa, o chorume mais concentrado é homogeneizado para que a dosagem de insumos químicos, potência de agitação e aeração sejam suficientes para atingir a eficiência de tratamento projetada. Os controles de bombas dosadoras e aeradores são automatizados através de sondas de pH nos processos primários, além de sondas de oxigênio dissolvido e potencial de oxidação/redução no processo secundário. A operação é mais confiável quanto menor for a necessidade de variações, o que torna a equalização um processo essencial da estação de tratamento de efluentes.

3.6.3.1.1 Físico-Químico

O processo físico-químico é utilizado para remoção de sólidos em suspensão com influência na redução da cor verdadeira. Este processo, se dá pelo emprego de processos de coagulação, floculação e separação da fração líquida e sólida. A partir da elevação do pH no efluente, ocorre a espontânea formação de sólidos em suspensão, aglomerando-se em coágulos (coagulação), e posteriormente agrupando os coágulos para formação de flocos maiores (floculação). Estes processos ocorrem imediatamente após a dosagem de insumos químicos e a formação de flocos é controlada pelo pH e velocidade de agitação do efluente. O processo seguinte é a separação dos sólidos da fração líquida (clarificado)

que pode ser feita através de flotação, quando os flocos são leves e tendem a flutuar, ou decantação, quando os sólidos são pesados e tendem a decantar.

Após a separação da fase sólida, o lodo é encaminhado a um tanque de adensamento para alimentação do decanter centrífugo, equipamento que irá desaguar o lodo, ou seja, remover o excesso de umidade para que este possa ser destinado como resíduo sólido.

O processo de tratamento físico-químico é um processo consolidado e robusto no tratamento de efluentes, ele é capaz de remover parte da carga orgânica suspensa, aumentando a tratabilidade do efluente nos processos seguintes. Diversos insumos químicos podem ser utilizados neste processo, assim cabe a constante avaliação técnico-econômica dos produtos que oferecem melhor eficiência de tratamento, avaliação esta que pode acontecer no laboratório do empreendimento com equipamentos de bancada como o *jar-test*.

Após o processo físico-químico, o efluente clarificado, segue para a etapa seguinte de tratamento, a extração de amônia através de *air-stripping*.

3.6.3.1.2 Stripping de Amônia

Presente totalmente dissolvido, o nitrogênio amoniacal não é passível de remoção por precipitação química convencional. A característica de elevada solubilidade dificulta a extração da amônia quando mantido o líquido como fase contínua, observando-se reduções insignificantes nas concentrações em condições ambientais comuns. O sistema de tratamento proposto inclui um processo exclusivo para a remoção de nitrogênio amoniacal através da operação unitária de extração gás-líquido em torres de *air-stripping*.

Este processo exige o deslocamento prévio da amônia para a forma livre (gasosa) através da elevação do pH no efluente, assim quando este é aspergido na parte mais alta da torre e encontra a contracorrente de ar, ocorre o arraste da amônia. Nesta proposição, o processo de *stripping* de amônia é composto de seis conjuntos de torre metálica com ventilação sobre tanque metálico e bombas de recirculação, a altura total do módulo é de dez metros, atualmente as torres de *stripping* acopladas as plantas de osmose reversa têm altura de oito metros, esse aumento de altura reduzir a percepção de odor.

3.6.3.1.3 Lodos Ativados

O reator de lodos ativados, destina-se à remoção da matéria orgânica solúvel e da amônia residual através da oxidação biológica. A partir do desenvolvimento da nitrificação, a operação dos reatores em condições alternadas aeróbica/anóxica permite a desnitrificação, com redução de nitrato e aproveitamento de fração do oxigênio liberado. Da conversão das espécies químicas resulta a produção de biomassa (bactérias), cujo excedente deve ser removido do processo através do descarte do decantador. A adoção

de volume extensivo com baixo f/m (*food to microorganism ratio*) decorre da característica recalitrante dos compostos presentes. Deste modo, é assegurada a oxidação biológica da totalidade matéria orgânica passível de oxidação.

A caracterização da matéria orgânica total presente no chorume, exige a separação das parcelas suspensa e solúvel, sendo para esta última, biodegradável e não biodegradável. A classificação decorre da evidência que a fração solúvel biodegradável é considerada como substrato orgânico para bactérias protagonistas do tratamento biológico, este por sua vez viável para relação entre DBO e DQO observada.

Na instalação de reatores biológicos aeróbicos de lodos ativados pretende-se, portanto, a oxidação da matéria orgânica solúvel biodegradável, a adsorção de outros compostos nas estruturas dos flocos biológicos (com ou sem hidrólise) e a oxidação biológica de amônia a nitrato, com reações de nitrificação. Para o reator biológico, considera-se a condução das reações de oxidação de matéria orgânica e amônia em volumes submetidos à aeração. O fornecimento de oxigênio é realizado por sistema de aeração superficial de alta taxa, com controle de oferta por eletrodo de OD (oxigênio dissolvido) no segundo volume. Da leitura de OD, segue atuação em acionamento/interrupção de motores. É prevista aeração superficial de alta taxa com funções de agitação e aeração dissociados. É possível o controle da oferta de oxigênio, através de sondas de OD, mantendo-se o meio agitado para o desenvolvimento da reação de desnitrificação, sendo o escoamento através dos reatores de forma contínua.

Para assegurar a remoção nitrogênio amoniacal é previsto um reator anóxico. Este reator não aerado, somente agitado, é onde ocorrem as reações de desnitrificação. Durante o tratamento biológico o efluente é recirculado entre o reator aerado e o reator anóxico, carreando nitratos formados da oxidação da amônia para o ambiente anaeróbio que serão transformados em nitrogênio gasoso por microrganismos desnitrificantes, assim evitando que estes nitratos formem novamente nitrogênio amoniacal dentro do reator aerado.

O efluente do reator aerado gera biomassa sólida (excesso de microrganismos), a separação deste lodo biológico do efluente líquido (clarificado) pode ser feita através de membranas de Ultrafiltração (MBR) ou decantador secundário. Este projeto, considera a utilização de decantador devido as dificuldades atreladas a manutenção de equipamentos importados, tais como demora de reposição de peças e escassez de mão-de-obra específica. O decantador secundário permite o funcionamento do processo biológico aeróbico através da retenção da biomassa proveniente do reator, a corrente submetida à separação de fases (decantação), com o retorno da maior parcela das bactérias para continuar a digestão da matéria orgânica no reator.

É previsto o emprego de decantador secundário de geometria circular, escoamento radial, fundo cônico com ponte raspadora. A recirculação do lodo precipitado é destinada de volta ao reator e o excedente é descartado no tanque de condicionamento de lodo para

desague juntamente com o lodo oriundo da precipitação química. O sobrenadante clarificado é destinado do decantador para o tanque de água decantada por ação gravitacional para seguir para alimentação do processo de filtração.

3.6.3.1.4 Deságue e Destinação do Lodo

A operação da estação de tratamento promove a geração de duas tipologias distintas de resíduos sólidos, a partir dos processos físico-químico e biológico. Na etapa físico-química de precipitação, o lodo gerado com concentração de sólidos entre 3 e 4% é direcionado para o tanque de condicionamento de lodo e bombeado para a centrífuga subsequente. A centrífuga permite a separação das fases sólida e aquosa, com envio desta última, de volta para o processo de tratamento. Na etapa biológica, o lodo gerado com concentração de sólidos entre 0,5 e 1,5 % é direcionado para o mesmo tanque de condicionamento, seguindo-se o deságue conjunto. O lodo físico-químico e biológico são misturados no tanque de lodo e direcionados para o decanter centrífugo. A torta gerada, com concentração de sólidos de cerca de 50%, é armazenada em caçambas para destinação adequada e devidamente licenciada, sendo a umidade removida do lodo (efluente) direcionado para a lagoa de equalização para retornar ao tratamento.

3.6.3.1.5 Filtração

Constituído de uma coluna recheada, definido por um escoamento da fase líquida através de um meio poroso (areia), o filtro de areia deve ser utilizado como polimento da remoção de sólidos suspensos. A água decantada proveniente do decantador secundário é armazenada para alimentação dos filtros de areia. A prevenção de formação de biofilmes nos leitos filtrantes é dada pela dosagem, junto à armazenagem, de hipoclorito de sódio. Dos filtros, o escoamento segue para armazenagem de água filtrada, a água filtrada servirá para a operação de retrolavagem. O filtro de areia é uma operação unitária com aspecto de segurança operacional, a fim de barrar desvios operacionais e proteger operações subsequentes.

Durante a filtração, é esperado acréscimo de perda de carga dos leitos filtrantes por conta do acúmulo de sólidos, impondo a necessidade de retrolavagem. A interrupção da filtração implica na interrupção das bombas de alimentação e acionamento das bombas para retrolavagem, com funcionamento vinculado ao sensor de nível do tanque de água filtrada. A operação é manual, com base na leitura das pressões manométricas de entrada e saída de cada coluna. A operação de filtração pode ser conduzida isoladamente em cada coluna, permitindo manutenção parcial. Do tanque de água filtrada o efluente segue para o processo de polimento através de membranas de nanofiltração.

3.6.3.1.6 Nanofiltração

O processo de nanofiltração é um tratamento terciário de separação através de membranas seletivas, o efluente é injetado sob pressão em membranas que permitem apenas a passagem de determinados componentes, enquanto impede a passagem de outros. A nanofiltração é um processo de segurança operacional e espera-se com ela principalmente a redução de cor aparente do efluente tratado. A escolha deste processo se deu pela adquirida experiência do Grupo Solví em operar sistema de nanofiltração após o tratamento convencional do chorume.

O efluente tratado será preferencialmente utilizado como água de reuso nas atividades operacionais do empreendimento e também com ação de mitigação de impactos a partir da sua utilização no abatimento de poeiras. Na existência de quantidade excedente, o efluente tratado será destinado para empresas devidamente licenciada para tal fim.

3.6.3.2 Controles Operacionais

O projeto de implantação da ETE, prevê o monitoramento da eficiência dos processos de tratamento, através de medições nos processos de equalização, coagulação físico-química, *stripping* de amônia, lodos ativados, filtração e nanofiltração:

- ✓ **Frequência diária: DQO, cor, pH e turbidez;**
- ✓ **Frequência semanal: DBO, nitrogênio amoniacal e sólidos suspensos voláteis e totais (este último no processo biológico)**

A equalização e o reator biológico funcionam como amortecedores do tratamento. Sendo assim, algumas análises como as descritas podem ter sua frequência alterada, desde que não comprometa o controle operacional da ETE. Controles mais operacionais como pH e oxigênio dissolvido serão feitos através de sensores ligados a controles automatizados em motores de equipamentos para que seja feita a dosagem correta de insumos e haja consumo eficiente de energia elétrica para aeração.

3.7 MEDIDAS DE ENGENHARIA VISANDO GARANTIR A SEGURANÇA AMBIENTAL E A MITIGAÇÃO DE EVENTUAIS RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS

O projeto de proteção técnica de base do aterro sanitário contempla um conjunto de sistemas e elementos de engenharia geotécnica e sanitária, visando a segurança ambiental da área de implantação, com o objetivo de proteção dos solos e dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, garantindo a total contenção do chorume, bem como inviabilizando a infiltração no solo natural.

Como se verá, não bastando as rigorosas premissas de projeto, com afastamento do aquífero livre, bem como das virtuosas competências dos solos do terreno natural, francamente impermeáveis, corroboradas pelos ensaios diretos de permeabilidade

(efetivados no local através de ensaios de infiltração), as medidas de engenharia contemplam camada complementar de solo argiloso impermeável (barreira mineral), seguida por barreira sintética com manta de PEAD, que, em conjunto, de modo muito conservador, acabam por se constituir uma barreira natural com cerca de mais de 100 a 1000 metros de solo argiloso local, ou seja, tornando a proteção absoluta e indiscutível, mas à altura do inegociável resguardo ambiental.

A seguir, são descritas as principais soluções adotadas das medidas de engenharia formalizadas no projeto executivo:

3.7.1 SISTEMA DE BARREIRAS DE BASE (BASE LINER SYSTEM)

O sistema de impermeabilização de base projetado inclui múltiplas camadas de proteção, compondo uma barreira física e química à migração de percolados. São previstas as seguintes camadas:

- Camada de Argila Compactada: Com espessura mínima de 60 cm, composta por solo argiloso com coeficiente de permeabilidade $\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s, atendendo a Norma Técnica ABNT NBR 13896/1997 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projetos, implantação e operação, que recomenda camada com coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s, ressaltando, ainda, que de acordo com as características dos solos locais, com predominância de solos argilosos, o coeficiente de permeabilidade natural já é da ordem de até 10^{-7} cm/s. Esta camada atua como barreira mineral homogênea, contínua e imposta, dificultando a percolação de líquidos por gravidade ou ascensão capilar;
- Geomembrana de PEAD (Polietileno Expandido de Alta Densidade): com espessura mínima de 2,0 mm, texturizada nas duas faces, instalada sobre a camada de argila compactada, com soldagens por termofusão controladas em campo por testes de estanqueidade conforme normas vigentes. A geomembrana de PEAD apresenta excelente performance, resistência e durabilidade quando utilizada como revestimento impermeabilizante em obras de geotecnia e como sistema de barreira de proteção ambiental; sendo produzida com resina de alto peso molecular, desenvolvida para aplicações em condições severas de solicitação química e física, como aterros sanitários e outras aplicações de contenção de fluidos. A instalação desse elemento de impermeabilização, que é especificamente um material de aplicação direta em aterros sanitários, impede praticamente qualquer transposição dos líquidos percolados gerados no maciço sanitário para o solo, impossibilitando eventual infiltração do percolado no solo de base, bem como seu contato com as águas subterrâneas.
- Sistema de Barreiras Duplas (quando aplicável): nas áreas ambientalmente sensíveis como nas lagoas de acumulação e de tratamento de chorume, será

adotado o sistema de barreira dupla, com duas camadas de impermeabilização (argila + manta dupla de PEAD).

3.7.2 SISTEMA DE DRENAGEM DE CHORUME

Drenos de Chorume: instalados acima da camada de proteção mecânica da geomembrana, composta por material granular (brita e rachão), com elevada transmissividade, permite o escoamento eficiente do chorume (drenos secundários), conjugado à instalação de tubulação perfurada de PEAD (drenos principais), como condutor dos fluxos captados, para imediato afastamento da base.

Tubo Coletor de Drenagem: sistema com tubulações perfuradas em PEAD, envolto por material granular (brita e rachão) com declividade mínima de 1%, conduzindo todo o chorume captado até as caixas de inspeção e, posteriormente, para lagoas de acumulação ou sistema de tratamento.

3.7.3 GEOMETRIA E COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS

A geometria das células e a compactação dos resíduos foram projetadas para minimizar a formação de caminhos preferenciais de fluxo.

As superfícies de base possuem declividade mínima de 2% para condução adequada do percolado até o sistema de coleta.

3.7.4 CAMADA DE COBERTURA PROVISÓRIA E FINAL

Durante a operação as áreas que receberão resíduos deverão ter cobertura provisória obrigatoriamente com camada de 30 cm de solo argiloso e, quando necessário, também utilização de cobertura com material geossintético (manta de sacrifício). Importante ressaltar que as áreas ainda em operação, sofrem alterações por conta do processo dinâmico de alteamento das células compostas por resíduos. Por esse motivo, a cobertura, mesmo que provisória, se faz indispensável.

Para as fases já encerradas, ou seja, ao final da vida útil de uma célula, a cobertura, por sua vez, deve ter caráter definitivo, obedecendo à seguinte ordem: cobertura com camada de 30 cm de solo argiloso devidamente compactado, cobertura com geomembrana de PEBD (polietileno expandido de baixa densidade) de 1,0 mm e, por fim, em alguns casos quando necessário, cobertura com solo vegetal. No caso da utilização da cobertura vegetal, esta deve ser sobreposta à geomembrana por um sistema de geocélula e, em hipótese alguma, fazer desuso da cobertura de geomembrana em função ou troca da utilização da cobertura vegetal.

3.7.5 CONSIDERAÇÕES GEOTÉCNICAS ADICIONAIS

A caracterização geotécnica preliminar identificou solos argilosos com baixa permeabilidade natural, a partir de ensaios “in situ” de infiltração.

Ensaio complementares de permeabilidade em laboratório (ABNT NBR 14545/2000) e granulometria (ABNT NBR 7181/1984) serão realizados na fase da Licença de Instalação (LI), com amostras representativas e geotecnicaamente caracterizadas em blocos indeformados moldados, nas cotas definitivas de terraplenagem.

Todas essas medidas integram o projeto técnico do empreendimento e garantem a efetiva e absoluta contenção do chorume, prevenindo qualquer risco de infiltração nos solos e na água subterrânea subjacente. A adoção de sistemas redundantes de impermeabilização, com controle de qualidade rigoroso em todas as etapas de instalação, constitui a principal e inegociável estratégia de segurança ambiental no tocante à gestão dos efluentes líquidos gerados no aterro.

3.8 CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DA UVS BUJARU

A Tabela 13 apresenta o cronograma de implantação da UVS Bujaru, contemplando as unidades de infraestrutura e de tratamento de resíduos, descritas anteriormente.

Tabela 13. Cronograma de implantação da UVS Bujaru.

UNIDADES ADMINISTRATIVAS	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Implantação do canteiro de obras												
Limpeza de vegetação												
Guarita												
Cercamento da área												
Terraplanagem das áreas												
Prédio administrativo												
Vestiários												
Refeitórios												
UNIDADES DE APOIO	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Balança rodoviária												
Almoxarifado												
Tanque diesel - 15 m³												
Galpão de manutenção												
IMPLANTAÇÃO – UVS BUJARU	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Limpeza de vegetação												
Terraplanagem												
Construção de dique												
Impermeabilização (Mantas geossintéticas)												
Drenagens de chorume												
Acessos da etapa												
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Implantação da ETE												
Comissionamento da ETE												

IMPLANTAÇÃO - LAGOAS DE CHORUME	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Limpeza de vegetação												
Terraplanagem												
Construção de taludes												
Impermeabilização (Mantas geossintéticas)												
Cobertura												
Implantação das tubulações												
REDE ELÉTRICA	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Implantação da rede elétrica												
Instalação de geradores												
UNIDADE DE BIOGÁS	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Obras civis												
Instalação												
Comissionamento												
UTE - TERMOELÉTRICA	MÊS 01	MÊS 02	MÊS 03	MÊS 04	MÊS 05	MÊS 06	MÊS 07	MÊS 08	MÊS 09	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12
Obras civis												
Instalação												
Comissionamento												

	ANO 01
	ANO 02
	ANO 03

3.9 ANEXOS

Anexo I – Projeto Básico