



**RELATÓRIO DE ESTIMATIVA DE
CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO
ATERRO SANITÁRIO DE MURIAÉ –
ETAPA I**

Julho/2026

Sumário

1. Introdução	3
2. Justificativa da Necessidade e Urgência	3
3. Objetivo	4
4. Base Técnica e Documental	5
5. Estimativa de Custos	6
6. Conclusão.....	22

Figura

FIGURA 1 DEMARCAÇÃO DAS ÁREAS DE CONSTRUÇÃO DO NOVO ATERRO COM A ÁREA DA I ETAPA E O ATERRO ATUAL	4
---	---

Tabela

TABELA 1 - A ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DO NOVO ATERRO.....	6
TABELA 2 - TABELA DAS ETAPAS DA IMPLANTAÇÃO DO NOVO ATERRO	21

1. Introdução

O presente relatório apresenta a estimativa de custos para a implantação do novo Aterro Sanitário de Muriaé – Etapa I, fundamentando-se na necessidade imediata de execução em função do esgotamento da vida útil do aterro atualmente em operação, conforme previsão indicada no Projeto de Alçamento e estudos técnicos anexos. O documento inclui a planilha de estimativa de custos, que foi baseada no projeto de implantação da primeira plataforma do aterro, executada em 2014, desenvolvido em conformidade com as normas ABNT NBR 8.419/1996 e NBR 13.896/1997.

2. Justificativa da Necessidade e Urgência

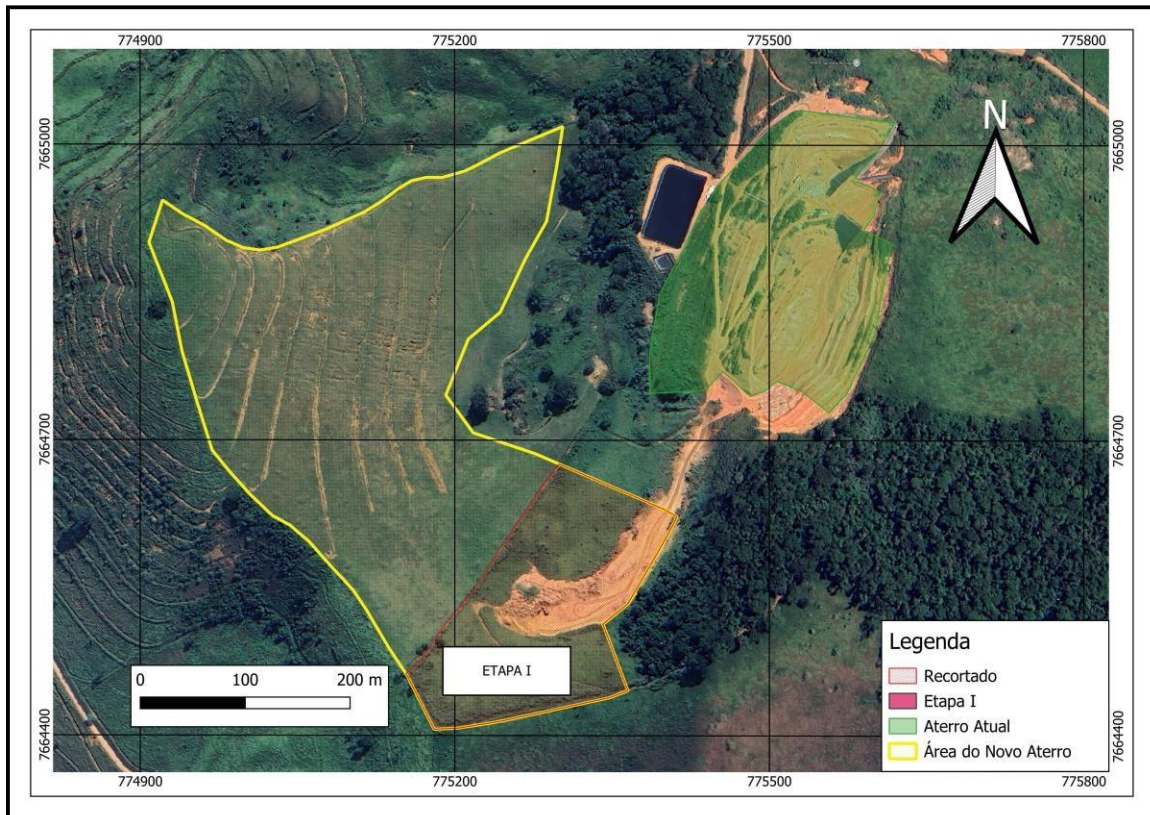
O aterro sanitário atualmente em operação pelo Departamento Municipal de Saneamento Urbano – DEMSUR encontra-se em fase final de sua vida útil, conforme estimativa técnica apresentada no projeto de alçamento. Ainda que o alçamento permita uma prorrogação temporária da capacidade, sua previsão de encerramento já está estabelecida, sendo imprescindível o início imediato dos trabalhos para posterior implantação do novo aterro para garantir a continuidade do serviço público de destinação final de resíduos sólidos urbanos.

A não execução tempestiva desta obra poderá gerar sérios impactos financeiros, ambientais, sanitários e sociais, incluindo riscos de disposição inadequada de resíduos, contaminação de águas superficiais e subterrâneas e aumento de vetores transmissores de doenças.

Adicionalmente, caso o DEMSUR não disponha de infraestrutura própria no momento do encerramento do aterro atual, será necessário contratar o transporte e a destinação dos resíduos para aterros particulares situados em outros municípios. Tal medida implicaria em aumento expressivo dos custos operacionais da autarquia, incluindo despesas de logística e taxas de disposição, onerando significativamente

seu orçamento e tornando o serviço menos eficiente. Abaixo figura 1 área com a demarcação das áreas citadas no documento.

Figura 1 Demarcação das áreas de construção do novo aterro com a área da etapa I e o aterro atual.



Fonte: DEMSUR 2025

Estamos acrescentando à estimativa de custo de implantação do novo aterro — referente à totalidade da área a ser licenciada, que corresponde a **152.745,00 m²** — o valor destinado à elaboração dos estudos ambientais (EIA/RIMA), tomando por base o Termo de Contrato AMA 9458828/2025 — DER/DG/Licitações, celebrado entre o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais e o Consórcio Direção E+/MG-238, para a contratação de empresa especializada visando à elaboração de estudos ambientais (licença de operação corretiva com EIA/RIMA) na Rodovia MG-238, em toda a sua extensão, incluído no PPAG, no valor de **R\$ 803.371,39** (oitocentos e três mil, trezentos e setenta e um reais e trinta e nove centavos).

3. Objetivo

O objetivo principal é viabilizar, com a urgência necessária, a construção do novo aterro sanitário (Etapa I), atendendo às exigências técnicas, ambientais e legais, de forma a assegurar a continuidade e a regularidade da disposição final de resíduos sólidos no município.

4. Base Técnica e Documental

Este relatório foi elaborado com base nos seguintes documentos anexos:

- Planilha de custo estimada do novo aterro sanitário – Etapa I;
- Projeto de Alçamento do Aterro Sanitário atual, com previsão de encerramento;
- Memoriais Descritivo e Técnico da ampliação e operação do aterro (Geotech Geotecnia Ambiental, 2025);
- Projeto inicial do aterro atual (Slope Consultoria e Projetos LTDA , 2010);

5. Estimativa de Custos

Tabela 1 - A estimativa de custos para implantação do novo aterro

DEMSUR - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO									
ORÇAMENTO:			EXECUÇÃO DA OBRA DE AMPLIAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO - 1ª PLATAFORMA					Data: Agosto/2025	
LOCAL:			ATERRO SANITÁRIO - MURIAÉ - MG						
PROJETO:			SETOR TÉCNICO DEMSUR		FONTE: SINAPI - Julho/2025 (Não Desonerada) SETOP - Jan/2025				
ITEM	FONTE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CÁLCULOS ORÇAMENTAIS					
1			CANTEIRO DE OBRAS E SERVIÇOS PRELIMINARES	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
1.1	SINAPI	103689	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PLACA DE OBRA COM CHAPA GALVANIZADA E ESTRUTURA DE MADEIRA. AF 03/2022 PS	M²	6,00	R\$ 502,02	25,18%	R\$ 628,43	R\$ 3.770,58
1.2	SETOP	ED-50137	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE CONTAINER, INCLUSIVE CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM CAMINHÃO CARROCERIA COM GUINDAUTO (MUNCK), EXCLUSIVE LOCAÇÃO DO CONTAINER	UNID.	3,00	R\$ 1.572,02	25,18%	R\$ 1.967,85	R\$ 5.903,55
1.3	SETOP	ED-16343	LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ÁGUA E ESGOTO PARA CONTAINER (VESTIÁRIO DE OBRA), EXCLUSIVE CHUVEIRO ELÉTRICO	UNID.	1,00	R\$ 326,66	25,18%	R\$ 408,91	R\$ 408,91
1.4	SETOP	ED-16342	LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA CONTAINER	UNID.	1,00	R\$ 307,63	25,18%	R\$ 385,09	R\$ 385,09

1.5	SETOP	ED-16348	LOCAÇÃO DE CONTAINER COM ISOLAMENTO TÉRMICO, TIPO 1, PARA ESCRITÓRIO DE OBRA, COM MEDIDAS REFERENCIAIS DE (6) METROS COMPRIMENTO, (2,3) METROS LARGURA E (2,5) METROS ALTURA ÚTIL INTERNA, INCLUSIVE AR CONDICIONADO E LIGAÇÕES ELÉTRICAS INTERNAS, EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO/ DESMOBILIZAÇÃO E LIGAÇÕES PROVISÓRIAS EXTERNAS	MÊS	5,00	R\$ 1.649,50	25,18%	R\$ 2.064,84	R\$ 10.324,20
1.6	SETOP	ED-16350	LOCAÇÃO DE CONTAINER COM ISOLAMENTO TÉRMICO, TIPO 3, PARA DEPÓSITO/ FERRAMENTARIA DE OBRA, COM MEDIDAS REFERENCIAIS DE (6) METROS COMPRIMENTO, (2,3) METROS LARGURA E (2,5) METROS ALTURA ÚTIL INTERNA, INCLUSIVE LIGAÇÕES ELÉTRICAS INTERNAS, EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO/ DESMOBILIZAÇÃO E LIGAÇÕES PROVISÓRIAS EXTERNAS	MÊS	5,00	R\$ 802,04	25,18%	R\$ 1.003,99	R\$ 5.019,95
1.7	SETOP	ED-16352	LOCAÇÃO DE CONTAINER COM ISOLAMENTO TÉRMICO, TIPO 5, PARA VESTIÁRIO DE OBRA COM SETE (7) CHUVEIROS E DOIS (2) LAVATÓRIOS, COM MEDIDAS REFERENCIAIS DE (6) METROS COMPRIMENTO, (2,3) METROS LARGURA E (2,5) METROS ALTURA ÚTIL INTERNA, INCLUSIVE LIGAÇÕES ELÉTRICAS E HIDROSSANITÁRIAS INTERNAS, EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO/ DESMOBILIZAÇÃO E LIGAÇÕES PROVISÓRIAS EXTERNAS	MÊS	5,00	R\$ 1.392,01	25,18%	R\$ 1.742,52	R\$ 8.712,60
			TOTAL DO ITEM						R\$ 34.524,88
2			ADMINISTRAÇÃO DE OBRA	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor

2.1	COMP.	C-001	CUSTO MENSAL DA ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA	mês	5,00	R\$ 26.307,38	25,18%	R\$ 32.931,58	R\$ 164.657,90
			TOTAL DO ITEM						R\$ 164.657,90
3			TERRAPLANAGEM E DRENAGEM DA ESTRADA DE ACESSO À 1ª PLATAFORMA	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
3.1	SETOP	ED-50276	LOCAÇÃO TOPOGRÁFICA ACIMA DE CINQUENTA (50) PONTOS REFERENCIAIS, INCLUSIVE ESTACA (PIQUETE) DE MARCAÇÃO	UNID.	50,00	R\$ 39,23	25,18%	R\$ 49,11	R\$ 2.455,50
3.2	SINAPI	101138	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (125HP/LÂMINA: 2,70M³) E CAMINHÃO BASCULANTE DE 10M³, DMT ATÉ 200M. AF_07/2020	M³	2500,00	R\$ 15,79	25,18%	R\$ 19,77	R\$ 49.425,00
3.3	SINAPI	105560	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE CAMADA FINAL DE ATERRO (100% DE ENERGIA DO PROCTOR NORMAL) COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO, EM CAMADAS COM ESPESURA DE 20 CM - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2024	M³	1250,00	R\$ 12,59	25,18%	R\$ 15,76	R\$ 19.700,00
3.4	SINAPI	100575	REGULARIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES COM MOTONIVELADORA. AF_09/2024	M²	2500,00	R\$ 0,57	25,18%	R\$ 0,71	R\$ 1.775,00
3.5	SINAPI	96396	CONSTRUÇÃO DE BASE E SUB-BASE PARA PAVIMENTAÇÃO DE BRITA GRADUADA SIMPLES, COM ESPESURA DE 15 CM - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF_09/2024	M³	375,00	R\$ 214,43	25,18%	R\$ 268,42	R\$ 100.657,50

3.6	SINAPI	100979	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	487,50	R\$ 6,82	25,18%	R\$ 8,54	R\$ 4.163,25
3.7	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	4875,00	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 16.770,00
3.8	SINAPI	102276	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_09/2024	M³	160,00	R\$ 11,31	25,18%	R\$ 14,16	R\$ 2.265,60
3.9	SINAPI	100979	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	208,00	R\$ 6,82	25,18%	R\$ 8,54	R\$ 1.776,32
3.10	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	208,00	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 715,52
3.11	SINAPI	102991	CANALETA MEIA CANA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO (D = 40 CM) - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_05/2025	M	1000,00	R\$ 86,51	25,18%	R\$ 108,29	R\$ 108.290,00
			TOTAL DO ITEM						R\$ 307.993,69
4			IMPLANTAÇÃO DA 1ª PLATAFORMA						

4.1			LIMPEZA DA ÁREA E MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
4.1.1	SINAPI	98525	LIMPEZA MECANIZADA DE CAMADA VEGETAL, VEGETAÇÃO E PEQUENAS ÁRVORES (DIÂMETRO DE TRONCO MENOR QUE 0,20 M), COM TRATOR DE ESTEIRAS. AF_03/2024	M²	20000,00	R\$ 0,71	25,18%	R\$ 0,89	R\$ 17.800,00
4.1.2	SINAPI	100983	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 0,80 M³ / 111 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	7800,00	R\$ 9,22	25,18%	R\$ 11,54	R\$ 90.012,00
4.1.3	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M³/KM	7800,00	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 26.832,00
4.1.4	SINAPI	100574	ESPALHAMENTO DE MATERIAL COM TRATOR DE ESTEIRAS. AF_09/2024	M³	7800,00	R\$ 1,46	25,18%	R\$ 1,83	R\$ 14.274,00
4.1.5	SETOP	ED-50276	LOCAÇÃO TOPOGRÁFICA ACIMA DE CINQUENTA (50) PONTOS REFERENCIAIS, INCLUSIVE ESTACA (PIQUETE) DE MARCAÇÃO	UNID.	200,00	R\$ 39,23	25,18%	R\$ 49,11	R\$ 9.822,00
4.1.6	SINAPI	101138	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (125HP/LÂMINA: 2,70M3) E CAMINHÃO BASCULANTE DE 10M3, DMT ATÉ 200M. AF_07/2020	M³	35000,00	R\$ 15,79	25,18%	R\$ 19,77	R\$ 691.950,00

4.1.7	SINAPI	101230	ESCAVAÇÃO VERTICAL PARA INFRAESTRUTURA, COM CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE DE SOLO DE 1ª CATEGORIA, COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 0,8 M³ / 111 HP), FROTA DE 3 CAMINHÕES BASCULANTES DE 14 M³, DMT ATÉ 1 KM E VELOCIDADE MÉDIA 14 KM/H. AF_05/2020	M³	35000,00	R\$ 11,31	25,18%	R\$ 14,16	R\$ 495.600,00
4.1.8	SINAPI	105559	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE CORPO DE ATERRO DE ATERRO (95% DE ENERGIA DO PROCTOR NORMAL) COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO, EM CAMADAS COM ESPESSURA DE 20 CM - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2024	M³	7000,00	R\$ 10,57	25,18%	R\$ 13,23	R\$ 92.610,00
4.1.9	SINAPI	105560	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE CAMADA FINAL DE ATERRO (100% DE ENERGIA DO PROCTOR NORMAL) COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO, EM CAMADAS COM ESPESSURA DE 20 CM - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2024	M³	3000,00	R\$ 12,59	25,18%	R\$ 15,76	R\$ 47.280,00
			TOTAL DO ITEM						R\$ 1.486.180,00
4.2			SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
4.2.1	SINAPI	102276	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_09/2024	M³	130,00	R\$ 11,31	25,18%	R\$ 14,16	R\$ 1.840,80

4.2.2	SINAPI	100979	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	169,00	R\$ 6,82	25,18%	R\$ 8,54	R\$ 1.443,26
4.2.3	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	169,00	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 581,36
4.2.4	ATA Nº 063/2025 DEMSUR	53716	FORNECIMENTO DE GEOMEMBRANA DE PEAD, TEXTURIZADA NOS DOIS LADOS, COM ESPESSURA DE 2,0MM, EMENDA EXECUTADA PELO PROCESSO DE CUNHA A QUENTE E CONFORME NORMAS E ESPECIFICAÇÕES ABAIXO:- NBR 15.856/2010 - Geomembranas e produtos correlatos - Determinação das propriedades de tração; - NBR 16.199/2020 - Barreiras geossintéticas - Instalação de geomembrana poliméricas; - NBR 16.757/2020 - Geossintéticos - Requisitos para aplicação	M²	15000,00	R\$ 23,27	15,96%	R\$ 26,98	R\$ 404.700,00
4.2.5	ATA Nº 063/2025 DEMSUR	12169	INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANA DE PEAD, TEXTURIZADA NOS DOIS LADOS, COM ESPESSURA DE 2,0MM, EMENDA EXECUTADA PELO PROCESSO DE CUNHA A QUENTE E CONFORME NORMAS E ESPECIFICAÇÕES ABAIXO:- NBR 15.856/2010 - Geomembranas e produtos correlatos - Determinação das propriedades de tração; - NBR 16.199/2020 - Barreiras geossintéticas - Instalação de geomembrana poliméricas; - NBR 16.757/2020 - Geossintéticos - Requisitos para aplicação	M²	15000,00	R\$ 4,20	25,18%	R\$ 5,26	R\$ 78.900,00

4.2.6	SINAPI	100979	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	3900,00	R\$ 6,82	25,18%	R\$ 8,54	R\$ 33.306,00
4.2.7	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE:M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3900,00	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 13.416,00
4.2.8	SINAPI	105559	EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE CORPO DE ATERRO DE ATERRO (95% DE ENERGIA DO PROCTOR NORMAL) COM SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO, EM CAMADAS COM ESPESSURA DE 20 CM - EXCLUSIVE ESCAVAÇÃO, CARGA E TRANSPORTE E SOLO. AF_09/2024	M³	3000,00	R\$ 10,57	25,18%	R\$ 13,23	R\$ 39.690,00
			TOTAL DO ITEM						R\$ 520.771,42
4.3			SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
4.3.1	SINAPI	102276	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_09/2024	M³	1125,00	R\$ 11,31	25,18%	R\$ 14,16	R\$ 15.930,00

4.3.2	SINAPI	93379	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³/POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA 0,8 A 1,5 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM SOLO (SEM SUBSTITUIÇÃO) DE 1ª CATEGORIA, COM COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO AF_08/2023	M³	732,50	R\$ 20,21	25,18%	R\$ 25,30	R\$ 18.532,25
4.3.3	SINAPI	100979	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	510,25	R\$ 6,82	25,18%	R\$ 8,54	R\$ 4.357,54
4.3.4	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	510,25	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 1.755,26
4.3.5	SINAPI	92216	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1000 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_03/2024	M	500,00	R\$ 514,59	25,18%	R\$ 644,16	R\$ 322.080,00
4.3.6	SINAPI	102991	CANALETA MEIA CANA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO (D = 40 CM) - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_05/2025	M	400,00	R\$ 86,51	25,18%	R\$ 108,29	R\$ 43.316,00
4.3.7	SINAPI	99260	CAIXA ENTERRADA HIDRÁULICA RETANGULAR, EM ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO, DIMENSÕES INTERNAS: 0,6X0,6X0,6 M PARA REDE DE DRENAGEM. AF_12/2020	UNID.	8,00	R\$ 478,93	25,18%	R\$ 599,52	R\$ 4.796,16

4.3.8	SINAPI	99290	BASE PARA POÇO DE VISITA RETANGULAR PARA DRENAGEM, EM ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO, DIMENSÕES INTERNAS = 1,5X1,5 M, PROFUNDIDADE = 1,40 M, EXCLUINDO TAMPÃO. AF_12/2020	UNID.	10,00	R\$ 4.384,21	25,18%	R\$ 5.488,15	R\$ 54.881,50
4.3.9	SINAPI	6243	TAMPAO FOFO SIMPLES COM BASE / REQUADRO, CLASSE B125 CARGA MAX. 12,5 T, REDONDO, TAMPA 600 MM (COM INSCRICAO EM RELEVO DO TIPO DE REDE)	UNID.	10,00	R\$ 415,35	25,18%	R\$ 519,94	R\$ 5.199,40
			TOTAL DO ITEM						R\$ 470.848,11
4.4			SISTEMA DE DRENAGEM DE PERCOLADO E REDE DE CONDUÇÃO PARA LAGOA EXISTENTE.	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
4.4.1	SINAPI	102689	DRENO ESPINHA DE PEIXE (SEÇÃO 0,40 X 0,40 M), COM TUBO DE PVC CORRUGADO RÍGIDO PERFURADO, DN 100 MM, ENCHIMENTO COM AREIA, INCLUSIVE CONEXÕES. AF_07/2021	M	170,00	R\$ 103,55	25,18%	R\$ 129,62	R\$ 22.035,40
4.4.2	SINAPI	102664	DRENO SUBSUPERFICIAL (SEÇÃO 0,40 X 0,40 M), CEGO, ENCHIMENTO DE BRITA, ENVOLVIDO COM MANTA GEOTÊXTIL. AF_07/2021	M	330,00	R\$ 51,07	25,18%	R\$ 63,93	R\$ 21.096,90
4.4.3	SINAPI	102716	ENCHIMENTO DE AREIA PARA DRENO, LANÇAMENTO MECANIZADO. AF_07/2021	M³	60,00	R\$ 211,43	25,18%	R\$ 264,67	R\$ 15.880,20
4.4.4	SINAPI	102276	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_09/2024	M³	320,00	R\$ 11,31	25,18%	R\$ 14,16	R\$ 4.531,20

4.4.5	SINAPI	93379	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³/POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA 0,8 A 1,5 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM SOLO (SEM SUBSTITUIÇÃO) DE 1ª CATEGORIA, COM COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO AF_08/2023	M³	291,74	R\$ 20,21	25,18%	R\$ 25,30	R\$ 7.381,02
4.4.6	SINAPI	100979	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 14 M³ - CARGA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA DE 1,20 M³ / 155 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	M³	36,74	R\$ 6,82	25,18%	R\$ 8,54	R\$ 313,74
4.4.7	SINAPI	93591	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M³, EM VIA URBANA EM LEITO NATURAL (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	36,74	R\$ 2,75	25,18%	R\$ 3,44	R\$ 126,38
4.4.8	SINAPI	90737	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 300 MM, JUNTA ELÁSTICA (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_01/2021	M	400,00	R\$ 6,06	25,18%	R\$ 7,59	R\$ 3.036,00
4.4.9	SINAPI	97906	CAIXA ENTERRADA HIDRÁULICA RETANGULAR, EM ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO, DIMENSÕES INTERNAS: 0,6X0,6X0,6 M PARA REDE DE ESGOTO. AF_12/2020	UNID.	10,00	R\$ 488,94	25,18%	R\$ 612,06	R\$ 6.120,60
TOTAL DO ITEM									R\$ 80.521,44
4.5			SISTEMA DE DRENOS DE GÁS	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor

4.5.1	SINAPI	92212	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 600 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_03/2024	M	13,50	R\$ 268,35	25,18%	R\$ 335,92	R\$ 4.534,92
4.5.2	COMP.	C-002	ENCHIMENTO DE PEDRA DE MÃO PARA DRENO, LANÇAMENTO MECANIZADO (SIMILAR A COMPOSIÇÃO SINAPI 102717).	M³	3,82	R\$ 207,89	25,18%	R\$ 260,24	R\$ 992,84
4.5.3	SINAPI	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_01/2024	KG	276,48	R\$ 14,32	25,18%	R\$ 17,93	R\$ 4.957,29
4.5.4	SINAPI	96555	CONCRETAGEM DE BLOCO DE COROAMENTO OU VIGA BALDRAME, FCK 30 MPA, COM USO DE JERICA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_01/2024	M³	3,46	R\$ 807,34	25,18%	R\$ 1.010,63	R\$ 3.492,74
4.5.5	SINAPI	96537	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA BLOCO DE COROAMENTO, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 2 UTILIZAÇÕES. AF_01/2024	M²	0,96	R\$ 193,96	25,18%	R\$ 242,80	R\$ 233,09
4.5.6	SINAPI	5795	MARTELETE OU ROMPEDOR PNEUMÁTICO MANUAL, 28 KG, COM SILENCIADOR - CHP DIURNO. AF_07/2016	CHP	102,06	R\$ 31,24	25,18%	R\$ 39,11	R\$ 3.991,57
4.5.7	SINAPI	5952	MARTELETE OU ROMPEDOR PNEUMÁTICO MANUAL, 28 KG, COM SILENCIADOR - CHI DIURNO. AF_07/2016	CHI	147,42	R\$ 29,06	25,18%	R\$ 36,38	R\$ 5.363,14
4.5.8	SINAPI-I	10917	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA, CA-60, Q-61, (0,97 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 3,4 MM, LARGURA = 2,45 M, ESPACAMENTO DA MALHA = 15 X 15 CM	M²	25,43	R\$ 7,51	15,96%	R\$ 8,71	R\$ 221,53

4.5.9	SINAPI	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	283,50	R\$ 31,21	25,18%	R\$ 39,07	R\$ 11.076,35
TOTAL DO ITEM									R\$ 34.863,47
5			PAISAGISMO E CINTURÃO VERDE	Unid.	Quant.	Custo S/ BDI	BDI	Custo C/ BDI	Valor
5.1	SINAPI	98504	PLANTIO DE GRAMA BATATAIS EM PLACAS. AF_07/2024	M²	3000,00	R\$ 12,60	25,18%	R\$ 15,77	R\$ 47.310,00
5.2	SINAPI	98509	PLANTIO DE ARBUSTO OU CERCA VIVA. AF_07/2024	UNID.	3500,00	R\$ 57,97	25,18%	R\$ 72,57	R\$ 253.995,00
5.3	SINAPI	98510	PLANTIO DE ÁRVORE ORNAMENTAL COM ALTURA DE MUDA MENOR OU IGUAL A 2,00 M . AF_07/2024	UNID.	100,00	R\$ 96,96	25,18%	R\$ 121,37	R\$ 12.137,00
5.4	SINAPI	98520	APLICAÇÃO DE ADUBO EM SOLO. AF_07/2024	M²	200,00	R\$ 5,71	25,18%	R\$ 7,15	R\$ 1.430,00
TOTAL DO ITEM									R\$ 314.872,00
TOTAL GERAL DO ORÇAMENTO COM BDI									R\$ 3.415.232,91
Engª Civil Daniela Murucci Monteiro CREA 147.585/D - MG									

A estimativa de custos para implantação do novo aterro **ETAPA I** contempla:

- Estudos Ambientais (EIA/RIMA);
- Serviços de mobilização e desmobilização;
- Custos de administração da obra.
- Terraplanagem;
- Obras civis de infraestrutura e sistemas de impermeabilização;
- Sistemas de drenagem de lixiviados e biogás;
- Sistema de drenagem pluvial;
- Aquisição e instalação de equipamentos;

O valor das obras incluindo materiais e BDI, foi estimado em **R\$ 3.415.232,91 (três milhões, quatrocentos e quinze mil, duzentos e trinta e dois reais e noventa e um centavos)**, conforme planilha anexa.

Conforme dispõe a Resolução CONAMA, em seu Art. 2º, as atividades potencialmente modificadoras do meio ambiente estão sujeitas à elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental –EIA/RIMA. No inciso X do referido artigo, encontra-se expressamente citado o aterro sanitário como uma dessas atividades.

Estamos acrescentando ao custo de implantação do novo aterro, o valor referente à elaboração dos estudos ambientais (EIA/RIMA), referente a toda área que será licenciada. A estimativa de custo deste estudo, foi elaborada, tomando por base o **Termo de Contrato AMA 9458828/2025** – DER/DG/Licitações, celebrado entre o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais e o Consórcio Direção E+/MG-238, *“para a contratação de empresa especializada visando à elaboração de estudos ambientais (licença de operação corretiva com EIA/RIMA) na Rodovia MG-238, em toda a sua extensão, incluído no PPAG, no valor de R\$*

803.371,39 (*oitocentos e três mil, trezentos e setenta e um reais e trinta e nove centavos*)."

Somando o custo estimado das obras e materiais com **BDI (R\$ 3.415.232,91)** ao valor dos estudos ambientais (**R\$ 803.371,39**), tem-se um total de:

R\$ 4.218.604,30 (quatro milhões, duzentos e dezoito mil, seiscentos e quatro reais e trinta centavos).

Ressalta-se que nesta primeira etapa não está contemplada a aquisição de área de terceiros.

6. Cronograma

Tabela 2 - Tabela das Etapas da implantação do novo aterro.

TABELA DAS ETAPAS DA IMPLANTAÇÃO DO NOVO ATERRO MURIAÉ/MG			
Etapas	Situação atual	Finalização	Observação
Elaboração do Laudo de Viabilidade	Finalizado	agos/25	
Elaboração dos Projetos	Finalizado	nov/25	
Entrada com Licenciamento Ambiental junto ao SLA	Não iniciada	mar/28	Aguardando a elaboração dos estudos (EIA/RIMA) e outros.
Elaboração dos estudos (EIA/RIMA) e outros	Não iniciada	dez/27	Durante a elaboração do estudo, as campanhas de análises precisam ser realizadas em duas fases, período seco e chuvoso. Nesse caso, teria que dar início em janeiro 2027 para finalizar em dezembro 2027. Pretende-se licitar em agos/26, contratar em nov/26 e finalizar em dez/27.
Análise do órgão ambiental	Não iniciada	mar/29	
Execução das obras de terraplanagem e abertura de via, instalação de equipamentos, instalação da manta e camada de base do aterro (dreno de base de lixiviados)	Não iniciada	2029	
Início da operação	Não iniciada	jul/29	

Fonte: DEMSUR 2025

As etapas do projeto terão a duração total de 48 meses, de forma otimista, incluindo elaboração de projetos, licenciamento ambiental e execução, contados a partir de agosto de 2025, com início das campanhas do Estudo de Impacto Ambiental em janeiro de 2027. Caso não sejam iniciadas nesse prazo, haverá um acréscimo de seis meses à duração total.

7. Conclusão

Conforme indicado no Laudo Geotécnico para Reconformação de maio de 2026, considerando os volumes de solo a serem utilizados na cobertura provisória e definitiva, o recebimento diário de resíduos de 65 t/dia, 365 dias operacionais no ano e o peso específico (γ) de 1,00 t/m³, estima-se uma vida útil de 2 anos e 3 meses.

A execução imediata do novo Aterro Sanitário de Muriaé – Etapa I, primeira plataforma, é fundamental para garantir a continuidade do serviço público de destinação final de resíduos sólidos urbanos. A postergação dessa obra implicaria, inevitavelmente, na necessidade de contratação emergencial do transporte e disposição de resíduos em aterros privados de outros municípios, com substancial aumento dos custos operacionais da autarquia, além de perda de autonomia e previsibilidade orçamentária.

Diante desse cenário, sugerimos que seja realizado um estudo de conformação do atual aterro, visando prolongar sua vida útil por mais dois anos, e que se iniciem as etapas dos processos licitatórios, de modo que as obras sejam concluídas conforme cronograma apresentado Tabela 2, garantindo segurança ambiental, eficiência operacional e sustentabilidade econômica ao DEMSUR.

O valor estimado para o início do novo aterro é de **R\$ 4.218.604,30 (quatro milhões, duzentos e dezoito mil, seiscentos e quatro reais e trinta centavos)**. 0

DEMSUR já possui como contrapartida os projetos executivos e os estudos de viabilidade, que se encontram contratados e em processo de elaboração.

O cronograma das etapas necessárias terá duração de 48 meses, com previsão de conclusão em julho de 2029.

Muriaé, 02 de julho de 2026

JOAO FRANCA
CIRIBELLI DE
CARVALHO:48599751
620

Assinado de forma digital por
JOAO FRANCA CIRIBELLI DE
CARVALHO:48599751620
Dados: 2026.07.02 16:28:43
-03'00'

João Franca Ciribelli de Carvalho
Eng. Civil – CREA: 39.830/D MG

DEMSUR

LAUDO GEOTÉCNICO PARA RECONFORMAÇÃO GEOMÉTRICA DO ATERRO SANITÁRIO DE MURIAÉ/MG

SITUAÇÃO ATUAL E DE PRÉ-PROJETO (FUTURA)

*DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO –
DEMSUR MURIAÉ, MG*

MAIO DE 2026

PRF-MRE-LDO-EST-H-F

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	II
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
1 INTRODUÇÃO	5
2 MARCOS SUPERFICIAIS	7
2.1 Setorização dos Marcos Superficiais	7
2.2 Ângulo de Deslocamento	17
2.2.1 Análise Bidimensional Plana (x, y)	17
2.2.2 Análise Tridimensional Espacial (x, y, z)	20
2.2.3 Comportamentos Deformacionais Geral e Local	21
2.3 Resultados do Comportamento dos Marcos Superficiais	22
3 PIEZOMÊTROS	30
3.1 Resultado das leituras realizadas	32
3.2 Resultados dos coeficientes r_u	35
4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE	39
4.1 Método de Análise	39
4.2 Geometria e situações estudadas	40
4.3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos	43
4.3.1 Justificativa para a adoção de parâmetros de resistência ao cisalhamento para os resíduos	43
4.3.2 Parâmetros de resistência dos solos compactados, naturais e de interface adotados na análise de estabilidade	45
4.3.3 Síntese dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais adotados nas hipóteses assumidas	45

4.4 Critérios de pressões de líquidos e gases adotados – poropressões nos resíduos	46
4.5 Resultados obtidos	47
5 ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA E VIDA ÚTIL DO CENÁRIO DE AMPLIAÇÃO (PRÉ-PROJETO) – RECONFORMAÇÃO GEOMÉTRICA	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1. Leituras de marcos superficiais analisadas.	7
Tabela 2-2. Setorização dos marcos superficiais.	7
Tabela 2-3. Critérios de avaliação para velocidades de deslocamento dos marcos superficiais.	9
Tabela 2-4. Velocidade de Deslocamento Horizontal dos marcos superficiais (mm/dia).	11
Tabela 2-5. Velocidade de Deslocamento Vertical dos marcos superficiais (mm/dia).	12
Tabela 2-6. Contagem de resultados dos marcos superficiais em função dos critérios de avaliação para velocidades de deslocamento horizontal e vertical.....	13
Tabela 2-7. Intensidade e média das velocidades de deslocamento horizontal (mm/dia).....	14
Tabela 2-8. Intensidade e média das velocidades de deslocamento vertical (mm/dia).....	15
Tabela 2-9. Setores que denotaram menor e maior média de velocidade de deslocamento horizontal e vertical (mm/dia).	15
Tabela 2-10. Recalque dos marcos superficiais.....	16
Tabela 2-11. Recalques máximos médios obtidos no período de um ano.....	16
Tabela 2-12. Critérios de classificação dos marcos superficiais e respectivas cores.	23
Tabela 2-13. Comportamento Direcional dos marcos superficiais - Análise Bidimensional Plana (x, y).	24
Tabela 2-14. Comportamento Deformacional Local dos marcos superficiais obtido em Análise Tridimensional Espacial (x, y, z).....	25

Tabela 2-15. Comportamento Deformacional Geral dos marcos superficiais obtido em Análise Tridimensional Espacial (x, y, z).....	26
Tabela 2-16. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em Análise Bidimensional Plana (x, y).....	27
Tabela 2-17. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em Análise Tridimensional Espacial (x, y, z).....	28
Tabela 3-1. Profundidade dos piezômetros e das células piezométricas instaladas no Aterro Sanitário de Muriaé.....	30
Tabela 3-2. Leituras das profundidades do nível de lixiviados dos piezômetros (metros).....	32
Tabela 3-3. Leituras da pressão de biogás nos piezômetros (kgf/cm ²).....	33
Tabela 3-4. Pressão de lixiviados calculada nos piezômetros, coluna de lixiviados (metros).	34
Tabela 3-5. Coeficiente r_u dos piezômetros em função da pressão de lixiviados.....	35
Tabela 3-6. Coeficiente r_u dos piezômetros em função da pressão de biogás.....	36
Tabela 3-7. Coeficiente r_u total dos piezômetros em função da pressão de biogás e pressão lixiviados.	37
Tabela 4-1. Índices de resistência à penetração, N_{IRP} , obtidos nos ensaios realizados no maciço de resíduos do aterro sanitário.	44
Tabela 4-2. Parâmetros de resistência ao cisalhamento adotados na análise de estabilidade.....	46
Tabela 4-3. Valores de Fator de Segurança obtidos para cada seção analisada no âmbito da situação atual e de ampliação.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Localização dos marcos superficiais e da setorização do Aterro Sanitário de Muriaé. Velocidade de Deslocamento.....	8
Figura 2-2. Exemplo de Comportamento Direcional de marco superficial instalado em região voltada para o Ocidente.	18
Figura 2-3. Exemplo de Comportamento Direcional de marco superficial instalado em região voltada para o Oriente.....	19
Figura 2-4. Esquema do Comportamento Deformacional Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.	20
Figura 2-5. Esquema do Comportamento Deformacional Não Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.	21
Figura 2-6. Seção típica ilustrativa com indicação dos ângulos β (talude local) e β_{MED} (seção).....	22
Figura 3-1. Localização dos 11 piezômetros no Aterro Sanitário de Muriaé.....	31
Figura 3-2. Identificação e classificação dos piezômetros quanto ao valor do r_u total.....	38
Figura 4-1. Cenário Atual - Locação das seções críticas de análise de estabilidade no âmbito do levantamento topográfico atual.	41
Figura 4-2. Cenário de Ampliação - Locação das seções de análise de estabilidade, com a reconformação geométrica do maciço de resíduos do aterro sanitário de Muriaé, até atingir a cota 325,0 m.....	42
Figura 4-3. Seção crítica analisada A-A'. (FS $\cong$ 1,9) – Situação Atual – Circular.	52
Figura 4-4. Seção crítica analisada A-A'. (FS $\cong$ 2,0) – Avanço frontal – Circular.	53
Figura 4-5. Seção crítica analisada B-B'. (FS $\cong$ 1,6) – Situação Atual – Circular.	54
Figura 4-6. Seção crítica analisada B-B'. (FS $\cong$ 1,7) – Avanço frontal – Circular.	55
Figura 4-7. Seção crítica analisada C-C'. (FS $\cong$ 1,4) – Situação Atual – Circular.....	56
Figura 4-8. Seção crítica analisada C-C'. (FS $\cong$ 1,5) – Avanço frontal – Circular.	57
Figura 4-9. Seção crítica analisada D-D'. (FS $\cong$ 1,6) – Situação Atual – Circular.....	58
Figura 4-10. Seção crítica analisada D-D'. (FS $\cong$ 1,8) – Avanço frontal – Circular.	59

1 INTRODUÇÃO

A GEOTECH Geotecnia Ambiental Consultoria e Projetos Ltda apresenta o Laudo de avaliação da estabilidade geotécnica do maciço de resíduos do Aterro Sanitário de Muriaé/MG contemplando 02 cenários diferentes, sendo o primeiro cenário ou Cenário Atual a situação que representa a condição geométrica atual do maciço de resíduos (em operação) e o segundo cenário ou Cenário de Ampliação, para a situação de uma possível reconformação geométrica do maciço de resíduos, contemplando ganho de vida útil, porem com a necessidade de intervenções, como a execução de um novo dique de disparo de solo compactado e a desmobilização da lagoa de armazenamento temporário de lixiviados (chorume).

Para os dois cenários tivemos como um dos principais entraves a questão da ausência do monitoramento geotécnico no presente aterro sanitário por um período longo, sendo necessário realizar a coleta de dados e informações para elaboração desse Laudo de maneira expedita, refletindo-se na tomada de decisão para uma possível ampliação através da reconformação geométrica do maciço de resíduos, com ganho de mais vida útil. Sendo assim, optou-se por uma ampliação mais conservadora, em favor da segurança geotécnica.

É importante destacar que a análise da estabilidade realizada para o segundo cenário (Cenário de Ampliação) não foi considerado na elaboração de **pré-projeto (preliminar)**, os acessos, estruturas e dispositivos de proteção ambiental e demais detalhes. Portanto, a vida útil estimada nesse momento deverá sofrer redução na fase de elaboração do projeto executivo.

Para realização da análise de estabilidade geotécnica foram fornecidos os seguintes dados pela DEMSUR:

- ✓ Levantamento topográfico - *As Built* realizado em 24/04/2026;
- ✓ Leitura dos níveis de lixiviados e de pressões de gás dos piezômetros (PZ-01 a PZ-11) com frequência de 02 medições por semana, no período de 26/01/2026 a 30/04/2026;

- ✓ Leitura dos marcos superficiais com frequência semanal, no período de 05/03/2026 a 29/04/2026;
- ✓ Vazão de chorume no período de 22/01/2026 a 30/04/2026;
- ✓ Índice pluviométrico no período de 19/01/2026 a 30/04/2026;
- ✓ Estimativa do volume diário de lixiviados bombeado no período de janeiro/2026 a abril/2026.

2 MARCOS SUPERFICIAIS

Marco superficial é um instrumento que tem a finalidade de registrar, por acompanhamento topográfico, as movimentações da massa de resíduos, através da medição periódica das coordenadas x, y e z.

Atualmente, o aterro possui um total de 31 marcos superficiais em monitoramento. No intervalo deste laudo, foram realizadas 08 leituras, correspondentes a uma medição semanal executada entre 11/03/2026 e 29/04/2026, após a retomada das atividades de monitoramento geotécnico, conforme apresentado na Tabela 2-1.

Leitura	Data	Δt (dias)
L0	05/03/26	-
L1	11/03/26	6
L2	18/03/26	7
L3	25/03/26	7
L4	01/04/26	7
L5	08/04/26	7
L6	15/04/26	7
L7	22/04/26	7
L8	29/04/26	7

Tabela 2-1. Leituras de marcos superficiais analisadas.

2.1 Setorização dos Marcos Superficiais

Para melhor caracterizar e interpretar a evolução dos deslocamentos dos marcos superficiais, no aterro sanitário foram designados e nomeados setores. A Tabela 2-2 apresenta os setores que possuem marcos superficiais.

Nº	Sigla	Nome	Qt.	Marcos Superficiais
1	N-1	Norte 1	3	MS-16; MS-17; MS-29
2	N-2	Norte 2	4	MS-18; MS-19; MS-30; MS-31
3	NW-1	Noroeste 1	5	MS-14; MS-15; MS-20; MS-21; MS-28
4	NW-2	Noroeste 2	4	MS-06; MS-07; MS-08; MS-09
5	NW-3	Noroeste 3	6	MS-11; MS-12; MS-13; MS-22; MS-26; MS-27
6	NW-4	Noroeste 4	2	MS-03; MS-10
7	NW-5	Noroeste 5	3	MS-02; MS-04; MS-05
8	SW-1	Sudoeste 1	1	MS-01
9	W-1	Oeste 1	3	MS-23; MS-24; MS-25

Tabela 2-2. Setorização dos marcos superficiais.

As regiões correspondentes aos setores descritos na Tabela 2-2 são apresentadas na Figura 2-1.

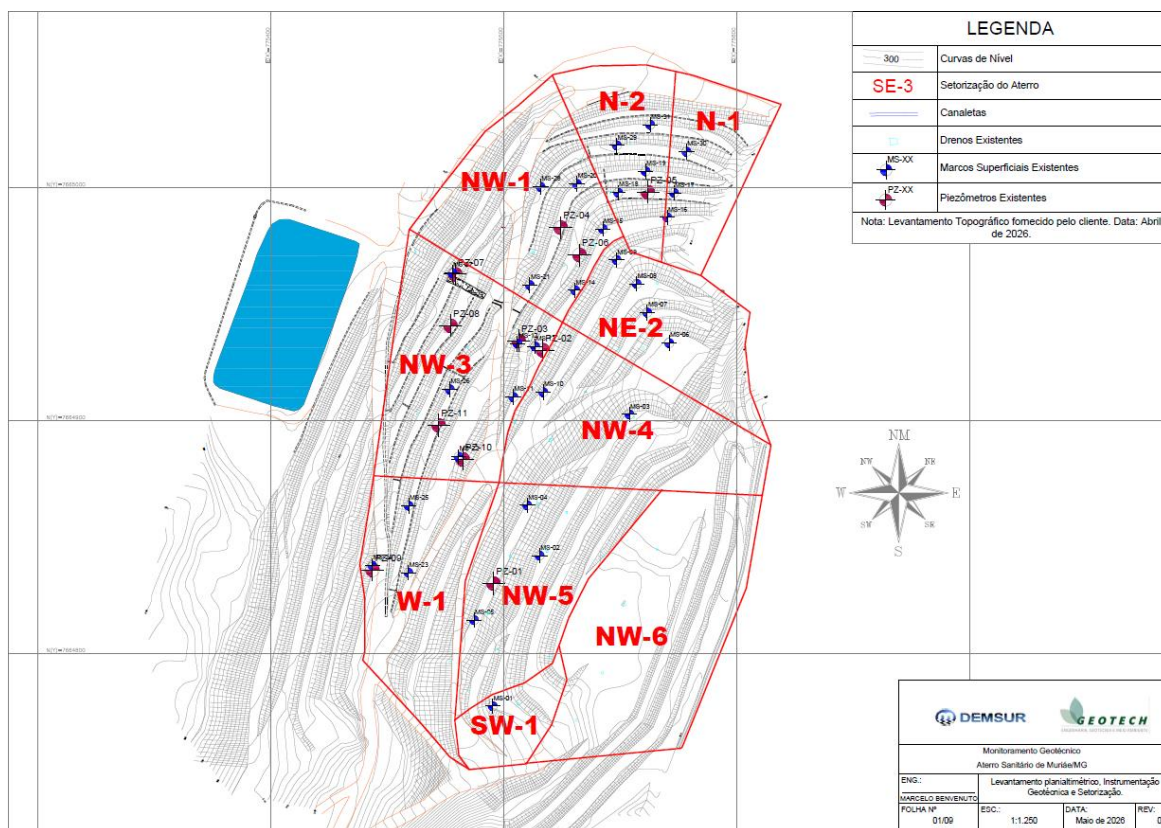


Figura 2-1. Localização dos marcos superficiais e da setorização do Aterro Sanitário de Muriaé. Velocidade de Deslocamento.

Em função das medições realizadas são calculadas as velocidades de deslocamento horizontal e vertical (recalque) para cada marco superficial instalado. Os critérios de segurança para as áreas sobre resíduos em função das velocidades de deslocamento para intervalos mensais de leitura podem ser resumidos conforme Tabela 2-3.

DESLOCAMENTO VERTICAL			
ADEQUADO	ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$X \leq 20 \text{ mm/dia}$	$20 < X \leq 40 \text{ mm/dia}$	$40 < X \leq 100 \text{ mm/dia}$	$X > 100 \text{ mm/dia}$
DESLOCAMENTO HORIZONTAL			
ADEQUADO	ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$X \leq 10 \text{ mm/dia}$	$10 < X \leq 20 \text{ mm/dia}$	$20 < X \leq 50 \text{ mm/dia}$	$X > 50 \text{ mm/dia}$

Tabela 2-3. Critérios de avaliação para velocidades de deslocamento dos marcos superficiais.

Esses valores foram definidos originalmente para periodicidade de leitura com intervalo de 30 dias, como referência para aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Este fato é de suma importância por tratar-se de aterros sanitários com comportamento extremamente peculiares em termos de velocidades, direção e sentido de deslocamentos.

No caso de haver deslocamentos progredindo para as condições de atenção, alerta e intervenção, há a necessidade de análise das seguintes condições em conjunto:

- Caráter e extensão dos fatos, definindo a área de abrangência;
- Verificação de área em operação, atendimento aos projetos e relação com os fatos;
- Verificação da piezometria associada à região e evolução dos resultados dos fatores de segurança;
- Verificação da pluviometria local e vazões de percolados;
- Inspeção técnica na área por técnico especialista; e
- Diagnóstico da ocorrência em conjunto com a operação do aterro e definição de ações corretivas operacionais e de controle.

Dentre as ações que poderão ser definidas após essa análise destacam-se:

- Movimentos de terra e resíduos, alterando conformações consideradas críticas;
- Drenagem de águas superficiais e de percolados com complementação dos sistemas;

- Instalação de drenos de alívio de gases e bombeamento de líquidos, com rebaixamento de poropressões;
- Alteração da periodicidade das leituras dos instrumentos; e
- Paralisação de atividades de disposição de resíduos local ou globalmente, em função da extensão dos fatos.

Essas medidas são definidas a partir de análise conjunta de todos os dados de instrumentação, inclusive de pluviometria e vazão de percolados, com a inspeção de campo sendo definida como essencial para avaliação das possíveis não conformidades e ações de correção e controle.

Desta forma, dados isolados com indicações duvidosas devem ser desconsiderados, após a análise conjunta dos diversos fatores, inclusive de evolução ao longo do tempo, que compõe os procedimentos do monitoramento geotécnico do aterro sanitário.

Na evolução dos critérios apresentados na Tabela 2-3, e de análise global das definições qualitativas de atenção/alerta/intervenção serão associadas a ações correspondentes de acordo com o que realmente venha a acontecer, conforme anteriormente definido.

A Tabela 2-4 resume os resultados das velocidades de deslocamento horizontal e a Tabela 2-5 resume os resultados das velocidades de deslocamento vertical dos marcos superficiais (mm/dia). As cores das respectivas tabelas que ilustram cada velocidade são baseadas nos critérios de avaliação para velocidades de deslocamento apresentados anteriormente na Tabela 2-3.

Data		11/03/26	18/03/26	25/03/26	01/04/26	08/04/26	15/04/26	22/04/26	29/04/26
Δt (dias)		6	7	7	7	7	7	7	7
Setor	Marco	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
N-1	MS-16	9,19	0,05	2,92	3,39	1,73	3,58	5,13	2,74
N-1	MS-17	3,06	0,67	1,70	1,79	1,88	2,22	6,16	8,06
N-1	MS-29	-	0,19	1,56	1,65	1,40	3,38	5,67	7,32
N-2	MS-18	1,03	2,28	6,30	4,46	3,27	4,08	1,64	3,02
N-2	MS-19	19,75	0,65	2,24	2,23	1,20	2,49	5,54	7,46
N-2	MS-30	2,70	0,69	2,07	1,37	1,44	3,26	6,68	9,41
N-2	MS-31	2,15	1,70	2,03	1,77	0,77	2,67	5,42	8,80
NW-1	MS-14	1,50	0,89	0,56	1,13	0,26	1,65	3,37	1,53
NW-1	MS-15	1,99	2,14	2,05	2,42	1,38	2,20	5,23	1,98
NW-1	MS-20	1,59	0,69	0,46	0,20	0,93	1,82	4,43	4,79
NW-1	MS-21	1,02	0,53	1,41	0,89	2,89	4,66	5,86	4,30
NW-1	MS-28	1,87	9,80	9,29	0,92	1,26	3,06	5,26	4,54
NW-2	MS-06	2,42	0,28	3,32	3,13	3,78	3,59	4,24	4,36
NW-2	MS-07	1,98	1,63	0,72	1,90	1,52	2,42	2,86	2,46
NW-2	MS-08	0,80	0,56	1,63	1,92	2,84	1,93	4,06	3,21
NW-2	MS-09	2,07	1,18	2,16	2,01	1,89	0,46	2,26	1,82
NW-3	MS-11	0,62	1,10	2,81	3,56	1,77	3,34	4,43	3,94
NW-3	MS-12	1,12	0,41	1,24	1,29	1,92	2,82	3,30	3,66
NW-3	MS-13	2,42	0,78	0,82	1,45	0,86	1,38	3,21	3,59
NW-3	MS-22	1,75	1,12	0,84	0,91	0,59	2,71	3,42	2,53
NW-3	MS-26	0,48	0,67	0,24	0,93	0,57	3,18	3,62	1,76
NW-3	MS-27	1,53	0,30	1,15	1,81	0,82	0,47	0,84	1,37
NW-4	MS-03	2,49	0,94	2,12	3,78	5,32	4,29	5,61	2,98
NW-4	MS-10	0,68	0,77	1,69	2,27	2,08	3,44	3,04	3,33
NW-5	MS-02	6,58	1,76	6,24	13,65	9,61	4,42	4,07	6,24
NW-5	MS-04	2,32	1,21	2,50	3,22	3,00	3,42	2,72	3,77
NW-5	MS-05	4,81	0,79	0,33	4,60	3,15	1,96	3,02	0,68
SW-1	MS-01	0,28	1,38	1,03	6,66	2,01	5,81	5,02	3,97
W-1	MS-23	1,38	0,60	1,74	0,79	1,11	4,84	4,41	2,53
W-1	MS-24	6,41	7,97	4,75	0,69	2,98	1,92	3,97	2,42
W-1	MS-25	1,53	1,26	1,55	1,02	1,76	3,01	5,00	0,40
Critérios de Avaliação - Deslocamento Horizontal (mm/dia)									
Adequado	Atenção	Alerta		Intervenção		*sem leitura			
$x \leq 10$	$10 < x \leq 20$	$20 < x \leq 50$		$x > 50$		-			

Tabela 2-4. Velocidade de Deslocamento Horizontal dos marcos superficiais (mm/dia).

Data		11/03/26	18/03/26	25/03/26	01/04/26	08/04/26	15/04/26	22/04/26	29/04/26
Δt (dias)		6	7	7	7	7	7	7	7
Setor	Marco	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
N-1	MS-16	1,00	-1,43	-2,57	-0,29	-1,57	0,71	-2,00	-0,86
N-1	MS-17	2,00	0,57	-4,29	-2,43	-0,14	-0,14	-2,00	-1,14
N-1	MS-29	-	0,71	-3,43	-1,86	-0,29	-0,14	-1,86	-0,71
N-2	MS-18	-1,33	0,14	-3,86	-1,29	-3,14	-2,29	-0,86	-0,86
N-2	MS-19	-0,17	-0,14	-4,71	-2,86	-0,29	-0,86	-2,86	-1,57
N-2	MS-30	2,83	0,57	-4,00	-2,00	-0,57	0,43	-1,57	-0,29
N-2	MS-31	3,17	0,86	-3,14	-0,71	0,29	0,71	-1,14	0,00
NW-1	MS-14	1,83	-1,29	-1,86	-0,43	0,71	-1,14	-0,29	-0,14
NW-1	MS-15	-0,17	-1,57	-3,71	-2,57	-1,29	-2,43	-3,00	-1,00
NW-1	MS-20	0,83	-2,00	-2,29	-1,00	-2,14	-0,29	-1,43	-0,43
NW-1	MS-21	1,50	-0,14	-2,71	-0,14	1,29	-1,00	-0,14	-1,71
NW-1	MS-28	0,50	-1,14	-0,57	-0,57	-1,14	0,29	-0,29	-0,71
NW-2	MS-06	2,17	-2,71	-1,86	-2,00	1,29	-3,00	-2,57	-0,14
NW-2	MS-07	1,17	-0,71	-1,86	-1,57	-0,57	-0,57	-1,71	-2,00
NW-2	MS-08	0,83	-1,00	-4,00	-0,71	-1,14	-2,00	-1,71	-2,57
NW-2	MS-09	-0,67	-0,71	-4,57	-1,71	0,86	-3,57	-2,00	-2,71
NW-3	MS-11	0,00	-1,14	1,71	-2,43	0,00	-0,86	-0,14	-0,71
NW-3	MS-12	1,17	-0,57	-0,71	-0,86	1,43	-1,43	-0,71	0,14
NW-3	MS-13	1,00	-0,57	-1,86	-1,14	2,00	-1,86	0,00	-0,86
NW-3	MS-22	1,33	-0,86	-2,71	1,57	0,00	0,43	-1,43	0,71
NW-3	MS-26	-0,67	1,00	-1,43	-1,43	0,86	-0,71	-0,43	-1,00
NW-3	MS-27	1,17	0,43	-1,57	-0,71	0,43	-0,29	-0,43	-0,14
NW-4	MS-03	-1,50	-1,71	-2,86	-3,29	-0,29	-2,57	-5,29	0,00
NW-4	MS-10	0,67	-2,14	-0,43	-0,29	-0,14	0,00	-1,14	-0,29
NW-5	MS-02	-1,83	-2,57	-2,57	-5,29	-1,00	-3,71	-6,57	-2,00
NW-5	MS-04	0,33	-1,43	-0,57	-0,57	0,43	-3,14	-1,14	0,00
NW-5	MS-05	1,00	-1,57	-1,14	-1,43	1,14	-2,00	-0,43	0,00
SW-1	MS-01	-0,33	0,57	-4,86	-2,86	0,29	-0,14	-3,29	-0,14
W-1	MS-23	1,83	-2,14	-0,71	0,00	0,86	0,29	-2,00	-0,14
W-1	MS-24	2,67	-0,57	0,86	-2,14	0,57	0,29	-2,57	0,86
W-1	MS-25	2,33	-0,86	-2,43	0,71	1,57	-2,14	-1,71	0,57
Critérios de Avaliação - Deslocamento Vertical (mm/dia)									
Adequado	Atenção	Alerta		Intervenção		*sem leitura			
$x \leq 20$	$20 < x \leq 40$	$40 < x \leq 100$		$x > 100$		-			

Tabela 2-5. Velocidade de Deslocamento Vertical dos marcos superficiais (mm/dia).

A Tabela 2-6 exibe a contagem de resultados das velocidades de deslocamento horizontal e vertical dos marcos superficiais de acordo com os critérios de avaliação apresentados na Tabela 2-3.

Velocidade de Deslocamento Horizontal	Critério	Total	%	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
	Adequado	245	99%	29	31	31	30	31	31	31	31
	Atenção	2	1%	1	0	0	1	0	0	0	0
	Alerta	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
	Intervenção	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	247	100%	30	31	31	31	31	31	31	31

Velocidade de Deslocamento Vertical	Critério	Total	%	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
	Adequado	247	100%	30	31	31	31	31	31	31	31
	Atenção	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
	Alerta	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
	Intervenção	0	0%	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	247	100%	30	31	31	31	31	31	31	31

Tabela 2-6. Contagem de resultados dos marcos superficiais em função dos critérios de avaliação para velocidades de deslocamento horizontal e vertical.

Conforme apresentado na Tabela 2-6, as velocidades de deslocamento vertical e horizontal mantiveram-se, de modo geral, dentro dos limites considerados adequados durante o período analisado. Entretanto, os marcos superficiais localizados nos setores Norte 2 (N-2) e Noroeste 5 (NW-5) apresentaram classificação de “Atenção” para deslocamento horizontal em leituras distintas e pontuais, sendo observada normalização nas campanhas subsequentes para ambos os marcos.

Mesmo com a maioria dos dados com comportamento satisfatório, recomenda-se a continuidade do monitoramento regular dos marcos e a observação frequente da área, visando identificar eventuais anomalias visuais, como subsidências (afundamentos), expansões ou desvios nas canaletas. Tais observações são fundamentais para complementar os dados instrumentais e auxiliar na antecipação de possíveis riscos geotécnicos.

Velocidade Horizontal	Marco	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Média N-1 = 3,28 mm/dia	MS-16	9,19	0,05	2,92	3,39	1,73	3,58	5,13	2,74
	MS-17	3,06	0,67	1,70	1,79	1,88	2,22	6,16	8,06
	MS-29	-	0,19	1,56	1,65	1,40	3,38	5,67	7,32
Média N-2 = 3,77 mm/dia	MS-18	1,03	2,28	6,30	4,46	3,27	4,08	1,64	3,02
	MS-19	19,75	0,65	2,24	2,23	1,20	2,49	5,54	7,46
	MS-30	2,70	0,69	2,07	1,37	1,44	3,26	6,68	9,41
	MS-31	2,15	1,70	2,03	1,77	0,77	2,67	5,42	8,80
Média NW-1 = 2,57 mm/dia	MS-14	1,50	0,89	0,56	1,13	0,26	1,65	3,37	1,53
	MS-15	1,99	2,14	2,05	2,42	1,38	2,20	5,23	1,98
	MS-20	1,59	0,69	0,46	0,20	0,93	1,82	4,43	4,79
	MS-21	1,02	0,53	1,41	0,89	2,89	4,66	5,86	4,30
	MS-28	1,87	9,80	9,29	0,92	1,26	3,06	5,26	4,54
Média NW-2 = 2,23 mm/dia	MS-06	2,42	0,28	3,32	3,13	3,78	3,59	4,24	4,36
	MS-07	1,98	1,63	0,72	1,90	1,52	2,42	2,86	2,46
	MS-08	0,80	0,56	1,63	1,92	2,84	1,93	4,06	3,21
	MS-09	2,07	1,18	2,16	2,01	1,89	0,46	2,26	1,82
Média NW-3 = 1,78 mm/dia	MS-11	0,62	1,10	2,81	3,56	1,77	3,34	4,43	3,94
	MS-12	1,12	0,41	1,24	1,29	1,92	2,82	3,30	3,66
	MS-13	2,42	0,78	0,82	1,45	0,86	1,38	3,21	3,59
	MS-22	1,75	1,12	0,84	0,91	0,59	2,71	3,42	2,53
	MS-26	0,48	0,67	0,24	0,93	0,57	3,18	3,62	1,76
	MS-27	1,53	0,30	1,15	1,81	0,82	0,47	0,84	1,37
Média NW-4 = 2,80 mm/dia	MS-03	2,49	0,94	2,12	3,78	5,32	4,29	5,61	2,98
	MS-10	0,68	0,77	1,69	2,27	2,08	3,44	3,04	3,33
Média NW-5 = 3,92 mm/dia	MS-02	6,58	1,76	6,24	13,65	9,61	4,42	4,07	6,24
	MS-04	2,32	1,21	2,50	3,22	3,00	3,42	2,72	3,77
	MS-05	4,81	0,79	0,33	4,60	3,15	1,96	3,02	0,68
Média SW-1 = 3,27 mm/dia	MS-01	0,28	1,38	1,03	6,66	2,01	5,81	5,02	3,97
Média W-1 = 2,67 mm/dia	MS-23	1,38	0,60	1,74	0,79	1,11	4,84	4,41	2,53
	MS-24	6,41	7,97	4,75	0,69	2,98	1,92	3,97	2,42
	MS-25	1,53	1,26	1,55	1,02	1,76	3,01	5,00	0,40

Legenda de Progressão de Intensidade Relativa				
Baixa	Média		Alta	

Tabela 2-7. Intensidade e média das velocidades de deslocamento horizontal (mm/dia).

Velocidade Vertical	Marco	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Média N-1 = 1,40 mm/dia	MS-16	1,00	-1,43	-2,57	-0,29	-1,57	0,71	-2,00	-0,86
	MS-17	2,00	0,57	-4,29	-2,43	-0,14	-0,14	-2,00	-1,14
	MS-29	-	0,71	-3,43	-1,86	-0,29	-0,14	-1,86	-0,71
Média N-2 = 1,55 mm/dia	MS-18	-1,33	0,14	-3,86	-1,29	-3,14	-2,29	-0,86	-0,86
	MS-19	-0,17	-0,14	-4,71	-2,86	-0,29	-0,86	-2,86	-1,57
	MS-30	2,83	0,57	-4,00	-2,00	-0,57	0,43	-1,57	-0,29
	MS-31	3,17	0,86	-3,14	-0,71	0,29	0,71	-1,14	0,00
Média NW-1 = 1,19 mm/dia	MS-14	1,83	-1,29	-1,86	-0,43	0,71	-1,14	-0,29	-0,14
	MS-15	-0,17	-1,57	-3,71	-2,57	-1,29	-2,43	-3,00	-1,00
	MS-20	0,83	-2,00	-2,29	-1,00	-2,14	-0,29	-1,43	-0,43
	MS-21	1,50	-0,14	-2,71	-0,14	1,29	-1,00	-0,14	-1,71
	MS-28	0,50	-1,14	-0,57	-0,57	-1,14	0,29	-0,29	-0,71
Média NW-2 = 1,77 mm/dia	MS-06	2,17	-2,71	-1,86	-2,00	1,29	-3,00	-2,57	-0,14
	MS-07	1,17	-0,71	-1,86	-1,57	-0,57	-0,57	-1,71	-2,00
	MS-08	0,83	-1,00	-4,00	-0,71	-1,14	-2,00	-1,71	-2,57
	MS-09	-0,67	-0,71	-4,57	-1,71	0,86	-3,57	-2,00	-2,71
Média NW-3 = 0,94 mm/dia	MS-11	0,00	-1,14	1,71	-2,43	0,00	-0,86	-0,14	-0,71
	MS-12	1,17	-0,57	-0,71	-0,86	1,43	-1,43	-0,71	0,14
	MS-13	1,00	-0,57	-1,86	-1,14	2,00	-1,86	0,00	-0,86
	MS-22	1,33	-0,86	-2,71	1,57	0,00	0,43	-1,43	0,71
	MS-26	-0,67	1,00	-1,43	-1,43	0,86	-0,71	-0,43	-1,00
	MS-27	1,17	0,43	-1,57	-0,71	0,43	-0,29	-0,43	-0,14
Média NW-4 = 1,41 mm/dia	MS-03	-1,50	-1,71	-2,86	-3,29	-0,29	-2,57	-5,29	0,00
	MS-10	0,67	-2,14	-0,43	-0,29	-0,14	0,00	-1,14	-0,29
Média NW-5 = 1,75 mm/dia	MS-02	-1,83	-2,57	-2,57	-5,29	-1,00	-3,71	-6,57	-2,00
	MS-04	0,33	-1,43	-0,57	-0,57	0,43	-3,14	-1,14	0,00
	MS-05	1,00	-1,57	-1,14	-1,43	1,14	-2,00	-0,43	0,00
Média SW-1 = 1,56 mm/dia	MS-01	-0,33	0,57	-4,86	-2,86	0,29	-0,14	-3,29	-0,14
Média W-1 = 1,28 mm/dia	MS-23	1,83	-2,14	-0,71	0,00	0,86	0,29	-2,00	-0,14
	MS-24	2,67	-0,57	0,86	-2,14	0,57	0,29	-2,57	0,86
	MS-25	2,33	-0,86	-2,43	0,71	1,57	-2,14	-1,71	0,57

Legenda de Progressão de Intensidade Relativa				
Baixa	Média			Alta

Tabela 2-8. Intensidade e média das velocidades de deslocamento vertical (mm/dia).

	Menor Média	Setor
Vxy	1,78	NW-3
Vz	0,94	NW-3

	Maior Média	Setor
Vxy	3,92	NW-5
Vz	1,77	NW-2

Tabela 2-9. Setores que denotaram menor e maior média de velocidade de deslocamento horizontal e vertical (mm/dia).

A Tabela 2-7 e Tabela 2-8 apresentaram os dados referentes ao período analisado com foco na análise da intensidade média das velocidades de deslocamento nos diferentes

setores do maciço de resíduos. Verificou-se que, a maioria dos setores apresentou velocidades médias de deslocamento horizontal e vertical classificadas dentro do limite considerado adequado. Com relação aos setores com velocidade de deslocamento horizontal média classificada como “atenção”, destacam-se os setores Norte 2 (N-2) e Noroeste 5 (NW-5). A Tabela 2-10 apresenta o recalque acumulado dos marcos superficiais no período entre as leituras L0 (05/03/26) e L08 (29/04/26).

Setor	Marco	L0 - z (m)	L8 - z (m)	Δz (m)
N-1	MS-16	324,23	324,18	-0,05
	MS-17	320,21	320,15	-0,06
	MS-29	-	315,31	-
N-2	MS-18	319,75	319,66	-0,09
	MS-19	318,00	317,91	-0,09
	MS-30	315,67	315,63	-0,04
	MS-31	313,06	313,06	0,00
NW-1	MS-14	325,34	325,32	-0,02
	MS-15	324,39	324,28	-0,11
	MS-20	318,40	318,33	-0,06
	MS-21	319,96	319,94	-0,02
NW-2	MS-28	315,44	315,41	-0,03
	MS-06	338,33	338,27	-0,06
	MS-07	334,47	334,42	-0,06
	MS-08	331,48	331,39	-0,09
NW-3	MS-09	327,76	327,66	-0,11
	MS-11	326,17	326,15	-0,03
	MS-12	323,22	323,20	-0,02
	MS-13	325,53	325,51	-0,02
NW-4	MS-22	323,19	323,19	-0,01
	MS-26	319,57	319,54	-0,03
	MS-27	311,67	311,66	-0,01
	MS-03	341,89	341,77	-0,12
NW-5	MS-10	329,17	329,14	-0,03
	MS-02	341,48	341,30	-0,18
	MS-04	334,93	334,89	-0,04
	MS-05	334,50	334,47	-0,03
SW-1	MS-01	341,34	341,27	-0,08
W-1	MS-23	323,75	323,73	-0,02
	MS-24	318,90	318,90	0,00
	MS-25	320,64	320,62	-0,02

Tabela 2-10. Recalque dos marcos superficiais.

	Setor	Média (m)
Maior recalque	NW-5	-0,08
Menor recalque	W-1	-0,01

Tabela 2-11. Recalques máximos médios obtidos no período de um ano.

Dessa forma, com base nos resultados obtidos para as velocidades de deslocamento dos marcos superficiais, conclui-se que a maior parte dos setores do aterro sanitário, no período analisado, apresentam comportamentos de deslocamento normais dos padrões usuais. Entretanto, recomenda-se que sejam realizadas inspeções técnicas semanais no aterro, com atenção redobrada nos setores Norte e Noroeste, mapeando, estaqueando e medindo eventuais trincas nas bermas e taludes, uma vez que apresentaram registros de velocidades não adequadas de “atenção”.

2.2 Ângulo de Deslocamento

Na análise de comportamento do aterro sanitário através da observação de movimentação dos marcos superficiais, além da velocidade de deslocamento, são realizadas Análises Bidimensional Plana (x, y) e Tridimensional Espacial (x, y, z), para cada instrumento instalado relativo ao período analisado, de forma a definir as direções de deslocamento e os ângulos relativos às inclinações dos taludes (inclinação do talude local e inclinação média da seção interceptante).

2.2.1 Análise Bidimensional Plana (x, y)

Com relação a movimentação bidimensional, em algumas situações pontuais alguns marcos superficiais podem apresentar um comportamento que “foge” do esperado logicamente por se deslocarem para a parte interna do aterro, no sentido contrário da inclinação do talude em que estão localizados. Esta condição pode ser chamada de Comportamento Direcional Contra Talude. Em caso contrário, se o marco superficial apresentar um deslocamento bidimensional “para fora” do aterro, no mesmo sentido da inclinação do talude em que está localizado, pode-se dizer, para efeito de análise, que ele apresenta Comportamento Direcional Normal.

Desta forma são obtidos os valores dos ângulos para Análise Bidimensional, denominados Θ , para todos os marcos superficiais, sendo apresentados posteriormente na Tabela 2-13.

O valor do ângulo Θ é comparado com Θ_{MAX} e Θ_{MIN} que irá orientar o comportamento do marco superficial, de acordo com os exemplos a seguir apresentados.

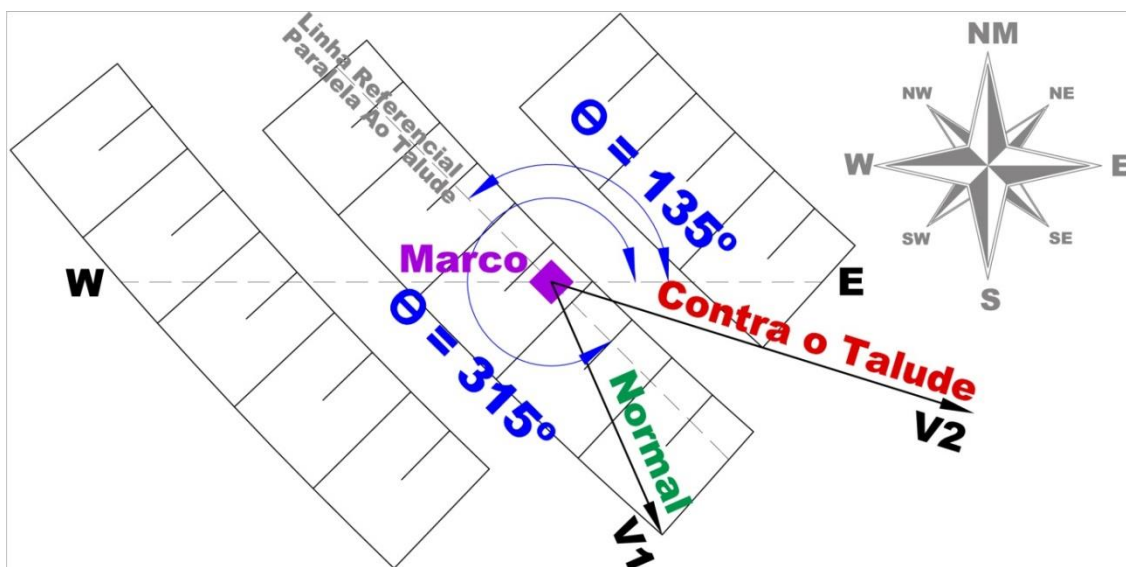


Figura 2-2. Exemplo de Comportamento Direcional de marco superficial instalado em região voltada para o Ocidente.

A Figura 2-2, acima, ilustra um marco superficial instalado em região na qual os taludes estão voltados para o Ocidente¹. No exemplo ilustrado, o talude por sobre o qual está instalado o marco superficial, no ponto de instalação, possui $\Theta = 135^\circ$ em comparação com linha horizontal W-E. Para este exemplo, todos os resultados de vetores com ângulos $135^\circ \leq \Theta < 315^\circ$ implicarão em marcos superficiais com Comportamento Direcional Normal, pois, como demonstra a Figura 2-2, esta situação apresenta o marco superficial “descendo” os taludes. De modo contrário, se os resultados obtidos dos vetores apresentarem ângulos $\Theta < 135^\circ$ ou $\Theta \geq 315^\circ$, o marco superficial estaria “contra” o talude. Para efeito de comparação no mesmo exemplo, $\Theta_{MIN} = 135^\circ$ é o mínimo valor de ângulo Θ para que o Comportamento Direcional deste marco superficial seja considerado normal, até o valor máximo Θ_{MAX} de 315° . Ou seja, Θ_{MIN} e Θ_{MAX} são os extremos do intervalo de comparação.

¹ Consideram-se voltados para Ocidente taludes que possuam ângulo $90^\circ \leq \Theta < 270^\circ$ em relação à linha horizontal W-E (Oeste-Leste).

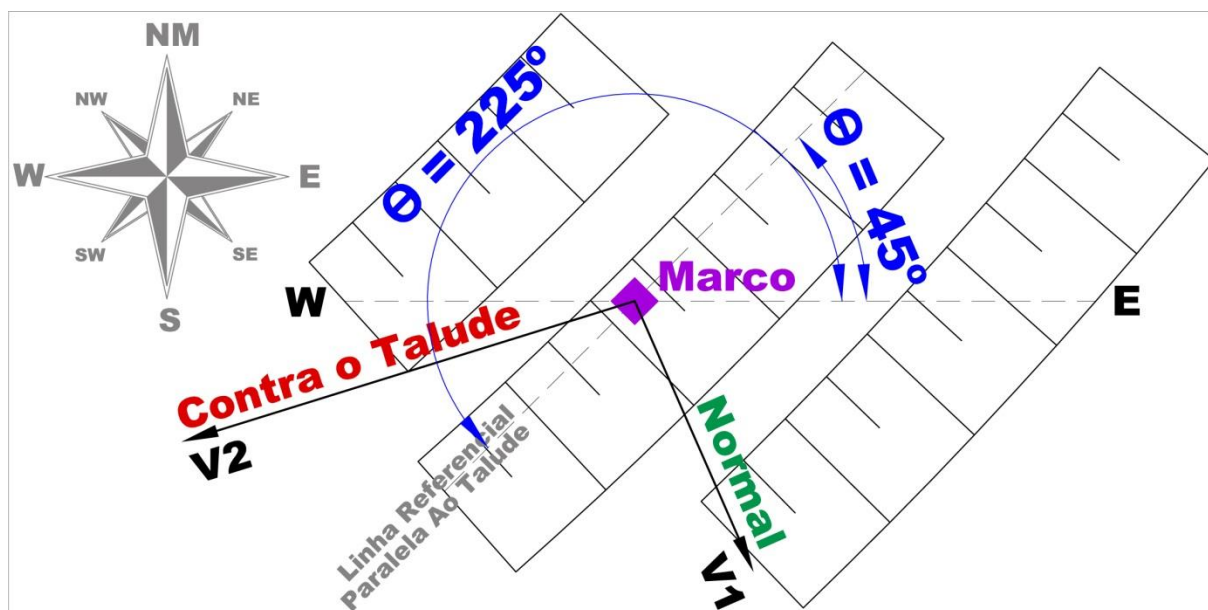


Figura 2-3. Exemplo de Comportamento Direcional de marco superficial instalado em região voltada para o Oriente.

A Figura 2-3, acima, ilustra um marco superficial instalado em região na qual os taludes estão voltados para o Oriente². No exemplo ilustrado, o talude por sobre o qual está instalado o marco superficial, no ponto de instalação, possui $\Theta = 45^\circ$ em comparação com linha horizontal W-E. Para este exemplo, todos os resultados de vetores com ângulos $\Theta < 45^\circ$ ou $\Theta \geq 225^\circ$ implicarão em marcos superficiais com Comportamento Direcional Normal, pois, como demonstra a Figura 2-3, esta situação apresenta o marco superficial “descendo” os taludes. De modo contrário, se os resultados obtidos dos vetores apresentarem ângulos $45^\circ \leq \Theta < 225^\circ$, o marco superficial estaria “contra” o talude. Para efeito de comparação no mesmo exemplo, e que pode ser observado na Tabela 2-13, $\Theta_{\text{MIN}} = 45^\circ$ é o mínimo valor de ângulo Θ para que o Comportamento Direcional deste marco superficial seja considerado Contra Talude, até o valor máximo Θ_{MAX} de 225° . Ou seja, Θ_{MIN} e Θ_{MAX} são os extremos do intervalo de comparação e ainda, marcos instalados no Ocidente tem interpretação inversa aos marcos superficiais instalados no Oriente.

² Consideram-se voltados para Oriente taludes que possuam ângulo $\Theta < 90^\circ$ ou $270^\circ \leq \Theta < 360^\circ$ em relação à linha horizontal W-E (Oeste-Leste).

Nos dois exemplos, referentes a Figura 2-2 e Figura 2-3, são demonstradas duas hipóteses de vetores, onde é possível observar o vetor $\vec{V}_1$ “a favor” do talude, com Comportamento Direcional Normal, e o vetor $\vec{V}_2$ “contra” o talude, com Comportamento Direcional Contra o Talude.

2.2.2 Análise Tridimensional Espacial (x, y, z)

Em termos de Análise Tridimensional, com relação aos deslocamentos horizontais e verticais, pode-se obter no período o ângulo α , produzido com o vetor de deslocamento resultante total e o vetor de deslocamento vertical (recalque z). Esta análise está condicionada ao comportamento direcional dos marcos superficiais, sendo aplicada somente para os casos de Comportamento Direcional Normal, obtidos na Análise Bidimensional Plana, devido ao fato da instabilidade de taludes se manifestar na direção de inclinação dos taludes.

A partir do valor do ângulo α pode-se tirar duas conclusões sobre a tendência da movimentação do maciço:

Situação 1: quando $\alpha \leq 45^\circ$, com o deslocamento horizontal menor que o vertical. Neste caso tem-se uma provável condição de estabilidade, o que se caracteriza como um Comportamento Deformacional Desejável, de acordo com a Figura 2-4.

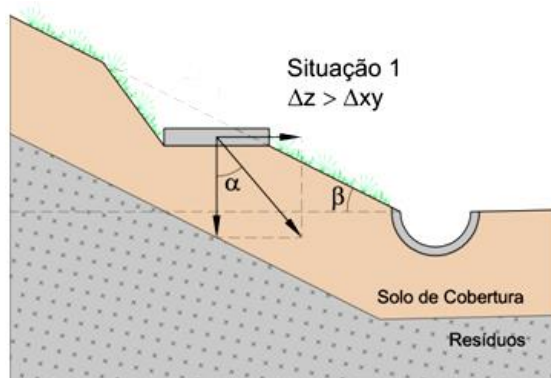


Figura 2-4. Esquema do Comportamento Deformacional Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.

Situação 2: quando $\alpha > 45^\circ$, com o deslocamento horizontal maior que o vertical. Neste caso, deve-se observar o valor do ângulo médio de inclinação do talude local com a horizontal, β , de forma a avaliar a tendência da movimentação, comparando α com $90^\circ - \beta$. Uma condição potencial de instabilidade da massa, e eventual surgimento de trincas de tração refletidas pelo marco superficial analisado, ocorrerá quando $\alpha \geq 90^\circ - \beta$, o que se caracteriza como Comportamento Deformacional Não Desejável. Cabe salientar que este comportamento também depende da magnitude dos deslocamentos, observada a tabela dos parâmetros de alerta para velocidades de deslocamento apresentada anteriormente. Esta condição é apresentada a seguir na Figura 2-5.

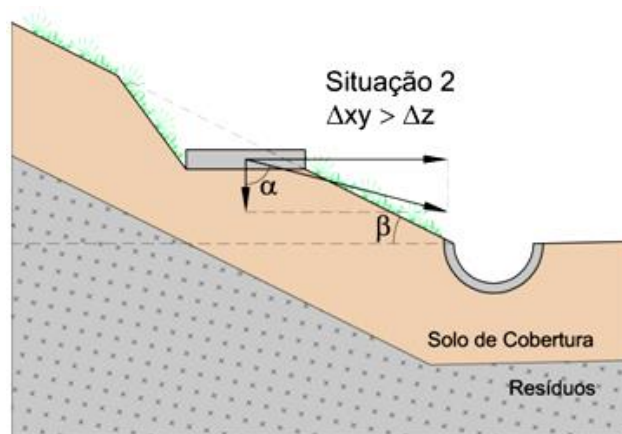


Figura 2-5. Esquema do Comportamento Deformacional Não Desejável da direção resultante dos marcos superficiais.

2.2.3 Comportamentos Deformacionais Geral e Local

As considerações de Comportamento Deformacional descritas acima, como já citado, tem como base a comparação dos vetores com o ângulo β de inclinação do talude (Figura 2-4 e a Figura 2-5), sobre o qual o marco superficial está instalado.

Considera-se esta condição de movimentação do marco superficial como Comportamento Deformacional Local, pois compara o ângulo do talude local β com α , denotando movimentações localizadas de pequenas massas. Assim, cada marco superficial possui ângulo β , que pode ser observado na Tabela 2-14.

O Comportamento Deformacional Geral, em contrapartida, considera o ângulo médio da seção interceptante ao marco superficial, β_{MED} , ou seja, marcos superficiais na mesma seção possuem ângulos de inclinação de talude iguais. Esta condição permite analisar as movimentações no âmbito geral do setor onde os marcos superficiais estão instalados, buscando condições de movimentações de grandes massas.

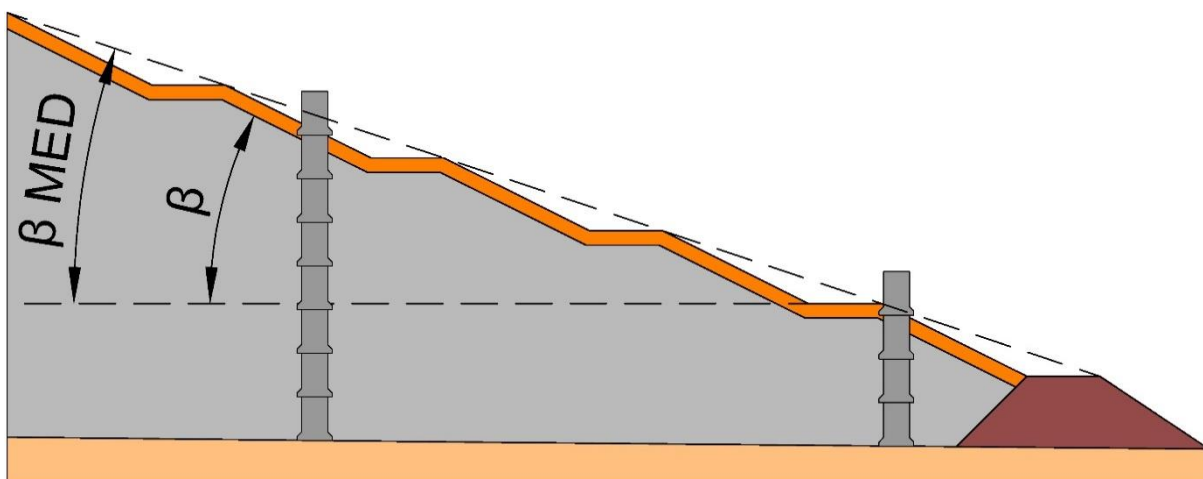


Figura 2-6. Seção típica ilustrativa com indicação dos ângulos β (talude local) e β_{MED} (seção).

Desta maneira pode-se dizer que as análises dos Comportamentos Deformacionais Geral e Local são semelhantes, com a diferença de que a condição Comportamento Deformacional Geral utiliza a comparação de α com β_{MED} , e a condição Comportamento Deformacional Local utiliza a comparação de α com β (Figura 2-4 e Figura 2-5).

2.3 Resultados do Comportamento dos Marcos Superficiais

A Tabela 2-12 apresenta a representação gráfica de cores utilizada na interpretação dos resultados das análises bidimensional e tridimensional, baseada nos critérios apresentados anteriormente.

ANÁLISE BIDIMENSIONAL PLANA (x,y)	
COMPORTAMENTO DIRECIONAL NORMAL	COMPORTAMENTO DIRECIONAL CONTRA O TALUDE
$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$	$\theta_{\min} \leq \theta < \theta_{\max}$
QUADRANTES 1 E 4 (ORIENTE)	

ANÁLISE BIDIMENSIONAL PLANA (x,y)	
COMPORTAMENTO DIRECIONAL NORMAL	COMPORTAMENTO DIRECIONAL CONTRA O TALUDE
$\theta_{\min} \leq \theta < \theta_{\max}$	$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$
QUADRANTES 2 E 3 (OCIDENTE)	

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL ESPACIAL (x, y, z)				
COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL DESEJÁVEL		COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL NÃO DESEJÁVEL		NÃO SE APLICA
Local	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ($\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta$)	Local	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta$	$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$
Geral	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ($\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta_{MED}$)	Geral	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta_{MED}$	

Tabela 2-12. Critérios de classificação dos marcos superficiais e respectivas cores.

Na Tabela 2-13 são apresentados os resultados dos valores dos ângulos θ obtidos através de Análise Bidimensional Plana para classificação das duas possíveis Situações Direcionais: Comportamento Direcional Normal e Comportamento Direcional Contra o Talude.

Na Tabela 2-14 são apresentados os resultados obtidos dos valores dos ângulos α , obtidos através de Análise Tridimensional Espacial para classificação das duas possíveis Situações Deformacionais (Comportamento Deformacional Desejável e Comportamento Deformacional Não Desejável) para os marcos superficiais, até a última leitura realizada.

Data de Leitura					11/03/26	18/03/26	25/03/26	01/04/26	08/04/26	15/04/26	22/04/26	29/04/26
Δt (dias)					6	7	7	7	7	7	7	7
Setor	Marco	Q	Θ_{MIN}	Θ_{MAX}	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
N-1	MS-16	1	177,15°	357,15°	131,03°	341,57°	173,26°	104,39°	178,11°	59,55°	206,28°	309,92°
N-1	MS-17	1	174,29°	354,29°	122,30°	9,87°	215,43°	56,69°	109,54°	271,85°	93,73°	272,03°
N-1	MS-29	1	160,47°	340,47°	-	112,62°	222,77°	31,22°	104,18°	262,72°	82,32°	275,27°
N-2	MS-18	1	176,22°	356,22°	75,96°	103,78°	181,95°	35,22°	120,49°	302,86°	77,42°	171,83°
N-2	MS-19	1	177,36°	357,36°	0,68°	23,20°	199,36°	43,70°	77,62°	270,33°	88,67°	262,63°
N-2	MS-30	1	178,65°	358,65°	67,87°	265,24°	240,60°	88,81°	58,84°	271,26°	85,22°	269,74°
N-2	MS-31	1	178,73°	358,73°	109,98°	305,43°	196,39°	59,91°	8,58°	279,87°	91,81°	276,43°
NW-1	MS-14	2	58,22°	238,22°	229,95°	152,20°	131,88°	145,30°	9,46°	250,78°	87,57°	274,28°
NW-1	MS-15	2	48,52°	228,52°	164,91°	66,85°	187,62°	99,52°	128,29°	254,16°	91,41°	254,05°
NW-1	MS-20	2	36,54°	216,54°	19,57°	150,26°	171,12°	30,26°	27,35°	245,44°	77,13°	273,25°
NW-1	MS-21	2	57,99°	237,99°	128,37°	122,83°	258,35°	39,81°	123,93°	267,89°	77,05°	261,01°
NW-1	MS-28	2	54,28°	234,28°	50,06°	186,78°	11,09°	278,00°	84,16°	255,12°	88,60°	265,67°
NW-2	MS-06	2	40,51°	220,51°	178,81°	40,91°	86,30°	241,68°	80,22°	235,36°	75,96°	253,64°
NW-2	MS-07	2	33,40°	213,40°	288,13°	103,67°	83,16°	178,71°	44,24°	245,25°	102,99°	267,67°
NW-2	MS-08	2	35,64°	215,64°	45,00°	113,96°	91,51°	212,86°	94,04°	257,61°	94,65°	255,28°
NW-2	MS-09	2	53,45°	233,45°	181,85°	124,65°	113,35°	168,13°	128,25°	60,26°	99,82°	241,43°
NW-3	MS-11	2	70,65°	250,65°	279,21°	285,12°	72,21°	221,42°	67,17°	241,14°	41,34°	216,75°
NW-3	MS-12	2	80,34°	260,34°	37,72°	330,75°	171,40°	184,45°	62,10°	232,20°	48,51°	237,43°
NW-3	MS-13	2	63,80°	243,80°	170,47°	346,22°	187,00°	183,40°	112,33°	247,43°	66,40°	223,55°
NW-3	MS-22	2	64,45°	244,45°	235,10°	97,31°	60,38°	204,15°	268,60°	235,72°	55,91°	238,37°
NW-3	MS-26	2	68,66°	248,66°	216,47°	122,01°	356,63°	166,61°	118,50°	233,95°	42,44°	236,57°
NW-3	MS-27	2	62,45°	242,45°	10,70°	16,70°	147,69°	303,44°	86,99°	167,66°	100,74°	46,68°
NW-4	MS-03	2	34,19°	214,19°	160,47°	149,93°	86,91°	210,44°	108,48°	216,07°	82,98°	193,30°
NW-4	MS-10	2	47,98°	227,98°	191,31°	18,43°	105,21°	208,98°	33,25°	239,81°	58,85°	216,28°
NW-5	MS-02	2	65,85°	245,85°	143,65°	160,10°	118,44°	162,84°	142,79°	174,62°	132,15°	189,35°
NW-5	MS-04	2	59,74°	239,74°	206,01°	108,65°	156,80°	150,82°	110,33°	175,69°	160,33°	194,04°
NW-5	MS-05	2	65,73°	245,73°	194,66°	117,03°	142,13°	192,57°	137,76°	229,44°	183,80°	352,72°
SW-1	MS-01	3	119,26°	299,26°	159,44°	108,06°	38,78°	213,28°	85,10°	196,12°	43,04°	211,46°
W-1	MS-23	2	76,51°	256,51°	246,53°	11,04°	173,40°	328,32°	52,84°	201,27°	6,50°	180,65°
W-1	MS-24	2	70,56°	250,56°	152,77°	290,35°	104,45°	8,30°	208,28°	194,24°	351,72°	143,87°
W-1	MS-25	2	78,18°	258,18°	200,41°	55,59°	245,56°	104,62°	222,37°	204,38°	24,66°	205,64°

ANÁLISE BIDIMENSIONAL PLANA (x,y)	
COMPORTAMENTO DIRECIONAL NORMAL	COMPORTAMENTO DIRECIONAL CONTRA O TALUDE
$\theta < \theta_{min}$ OU $\theta \geq \theta_{max}$	$\theta_{min} \leq \theta < \theta_{max}$
QUADRANTES 1 E 4 (ORIENTE)	

ANÁLISE BIDIMENSIONAL PLANA (x,y)	
COMPORTAMENTO DIRECIONAL NORMAL	COMPORTAMENTO DIRECIONAL CONTRA O TALUDE
$\theta_{min} \leq \theta < \theta_{max}$	$\theta < \theta_{min}$ OU $\theta \geq \theta_{max}$
QUADRANTES 2 E 3 (OCIDENTE)	

Tabela 2-13. Comportamento Direcional dos marcos superficiais - Análise Bidimensional Plana (x, y).

Data de Leitura					11/03/26	18/03/26	25/03/26	01/04/26	08/04/26	15/04/26	22/04/26	29/04/26
Δt (dias)					6	7	7	7	7	7	7	7
Setor	Marco	Q	β	90- β	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
N-1	MS-16	1	27,79°	62,21°	83,75°		28,29°	85,17°		78,49°		
N-1	MS-17	1	18,08°	71,92°	49,13°	31,05°		36,47°	85,64°		71,04°	
N-1	MS-29	1	19,03°	70,97°	-	14,57°		41,68°	78,22°		70,86°	
N-2	MS-18	1	15,89°	74,11°	37,71°	86,41°		73,24°	15,78°		58,48°	73,49°
N-2	MS-19	1	12,95°	77,05°	89,52°	77,36°		38,01°	76,22°		58,98°	
N-2	MS-30	1	20,12°	69,88°	43,61°			34,44°	66,55°		76,39°	
N-2	MS-31	1	24,14°	65,86°	34,12°			66,15°	68,09°		77,82°	
NW-1	MS-14	2	26,21°	63,79°	39,33°	34,64°	16,68°	67,70°			85,14°	
NW-1	MS-15	2	23,87°	66,13°	85,18°	42,87°	28,86°	43,25°	21,65°		55,00°	
NW-1	MS-20	2	21,01°	68,99°		19,06°	11,44°				71,17°	
NW-1	MS-21	2	16,30°	73,70°	34,22°	74,27°			63,61°		88,60°	
NW-1	MS-28	2	24,94°	65,06°		83,30°			25,26°		86,89°	
NW-2	MS-06	2	15,08°	74,92°	26,32°	5,96°	56,00°		70,13°		52,67°	
NW-2	MS-07	2	16,68°	73,32°		64,04°	21,18°	34,22°	67,85°		53,16°	
NW-2	MS-08	2	17,74°	72,26°	43,88°	29,37°	22,16°	68,18°	66,23°		65,00°	
NW-2	MS-09	2	18,33°	71,67°	71,19°	52,78°	25,32°	31,68°	63,06°	7,35°	27,84°	
NW-3	MS-11	2	23,47°	66,53°			52,34°	47,03°		75,15°		79,56°
NW-3	MS-12	2	21,18°	68,82°			54,91°	48,34°		59,57°		87,76°
NW-3	MS-13	2	24,97°	65,03°	65,56°		23,83°	37,75°	23,38°		90,00°	76,18°
NW-3	MS-22	2	21,78°	68,22°	40,28°	40,27°		30,02°		80,92°		73,62°
NW-3	MS-26	2	21,52°	68,48°	35,57°	33,97°		32,93°	33,57°	77,02°		55,45°
NW-3	MS-27	2	23,76°	66,24°			36,18°		58,29°	52,37°	59,46°	
NW-4	MS-03	2	19,98°	70,02°	53,02°	28,76°	36,54°	29,58°	86,92°		19,68°	90,00°
NW-4	MS-10	2	21,21°	68,79°	11,31°		75,29°	82,77°			67,90°	85,08°
NW-5	MS-02	2	25,98°	64,02°	73,82°	34,43°	65,66°	67,22°	84,03°	32,81°	31,75°	71,31°
NW-5	MS-04	2	22,71°	67,29°	81,73°	40,18°	76,80°	79,79°	81,79°	23,38°	65,11°	90,00°
NW-5	MS-05	2	18,14°	71,86°	77,99°	26,57°	15,91°	71,89°	68,69°	44,36°	81,84°	
SW-1	MS-01	3	22,07°	67,93°	40,51°			64,61°		88,59°		87,94°
W-1	MS-23	2	22,49°	67,51°	36,99°		65,76°			86,62°		86,76°
W-1	MS-24	2	17,85°	72,15°	65,42°		79,60°		78,96°	81,42°		69,28°
W-1	MS-25	2	22,77°	67,23°	33,24°		32,61°	45,48°	26,73°	44,63°		34,73°

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL ESPACIAL (x, y, z)		
COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL DESEJÁVEL	COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL NÃO DESEJÁVEL	NÃO SE APLICA
Local $\alpha \leq 45^\circ$ OU ($\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta$)	Local $\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta$	$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$
Geral $\alpha \leq 45^\circ$ OU ($\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta_{\text{MED}}$)	Geral $\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta_{\text{MED}}$	

Tabela 2-14. Comportamento Deformacional Local dos marcos superficiais obtido em Análise Tridimensional Espacial (x, y, z).

Data de Leitura					11/03/26	18/03/26	25/03/26	01/04/26	08/04/26	15/04/26	22/04/26	29/04/26
Δt (dias)					6	7	7	7	7	7	7	7
Setor	Marco	Q	β_{MED}	$90-\beta_{MED}$	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
N-1	MS-16	1	16,94°	73,06°	83,75°		28,29°	85,17°		78,49°		
N-1	MS-17	1	16,94°	73,06°	49,13°	31,05°		36,47°	85,64°		71,04°	
N-1	MS-29	1	16,94°	73,06°	-	14,57°		41,68°	78,22°		70,86°	
N-2	MS-18	1	16,26°	73,74°	37,71°	86,41°		73,24°	15,78°		58,48°	73,49°
N-2	MS-19	1	16,26°	73,74°	89,52°	77,36°		38,01°	76,22°		58,98°	
N-2	MS-30	1	16,26°	73,74°	43,61°			34,44°	66,55°		76,39°	
N-2	MS-31	1	16,26°	73,74°	34,12°			66,15°	68,09°		77,82°	
NW-1	MS-14	2	18,78°	71,22°	39,33°	34,64°	16,68°	67,70°			85,14°	
NW-1	MS-15	2	15,80°	74,20°	85,18°	42,87°	28,86°	43,25°	21,65°		55,00°	
NW-1	MS-20	2	15,80°	74,20°		19,06°	11,44°				71,17°	
NW-1	MS-21	2	18,78°	71,22°	34,22°	74,27°			63,61°		88,60°	
NW-1	MS-28	2	15,80°	74,20°		83,30°			25,26°		86,89°	
NW-2	MS-06	2	15,80°	74,20°	26,32°	5,96°	56,00°		70,13°		52,67°	
NW-2	MS-07	2	15,80°	74,20°		64,04°	21,18°	34,22°	67,85°		53,16°	
NW-2	MS-08	2	15,80°	74,20°	43,88°	29,37°	22,16°	68,18°	66,23°		65,00°	
NW-2	MS-09	2	15,80°	74,20°	71,19°	52,78°	25,32°	31,68°	63,06°	7,35°	27,84°	
NW-3	MS-11	2	16,09°	73,91°			52,34°	47,03°		75,15°		79,56°
NW-3	MS-12	2	17,20°	72,80°			54,91°	48,34°		59,57°		87,76°
NW-3	MS-13	2	17,20°	72,80°	65,56°		23,83°	37,75°	23,38°		90,00°	76,18°
NW-3	MS-22	2	18,21°	71,79°	40,28°	40,27°		30,02°		80,92°		73,62°
NW-3	MS-26	2	16,09°	73,91°	35,57°	33,97°		32,93°	33,57°	77,02°		55,45°
NW-3	MS-27	2	15,80°	74,20°			36,18°		58,29°	52,37°	59,46°	
NW-4	MS-03	2	17,52°	72,48°	53,02°	28,76°	36,54°	29,58°	86,92°		19,68°	90,00°
NW-4	MS-10	2	16,09°	73,91°	11,31°		75,29°	82,77°			67,90°	85,08°
NW-5	MS-02	2	18,21°	71,79°	73,82°	34,43°	65,66°	67,22°	84,03°	32,81°	31,75°	71,31°
NW-5	MS-04	2	18,21°	71,79°	81,73°	40,18°	76,80°	79,79°	81,79°	23,38°	65,11°	90,00°
NW-5	MS-05	2	19,63°	70,37°	77,99°	26,57°	15,91°	71,89°	68,69°	44,36°	81,84°	
SW-1	MS-01	3	16,55°	73,45°	40,51°			64,61°		88,59°		87,94°
W-1	MS-23	2	19,63°	70,37°	36,99°		65,76°			86,62°		86,76°
W-1	MS-24	2	19,63°	70,37°	65,42°		79,60°		78,96°	81,42°		69,28°
W-1	MS-25	2	18,21°	71,79°	33,24°		32,61°	45,48°	26,73°	44,63°		34,73°

ANÁLISE TRIDIMENSIONAL ESPACIAL (x, y, z)					
COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL DESEJÁVEL			COMPORTAMENTO DEFORMACIONAL NÃO DESEJÁVEL		NÃO SE APLICA
Local	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ($\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta$)		Local	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta$)	$\theta < \theta_{\min}$ OU $\theta \geq \theta_{\max}$
Geral	$\alpha \leq 45^\circ$ OU ($\alpha > 45^\circ$ E $\alpha < 90^\circ - \beta_{\text{MED}}$)		Geral	$\alpha > 45^\circ$ E $\alpha > 90^\circ - \beta_{\text{MED}}$)	

Tabela 2-15. Comportamento Deformacional Geral dos marcos superficiais obtido em Análise Tridimensional Espacial (x, y, z).

Comportamento Direcional Normal	Leitura	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
	Soma	24	19	20	24	22	14	22	14
	N-1	2	2	1	3	2	1	2	0
	N-2	4	2	0	4	4	0	4	1
	NW-1	3	5	3	2	3	0	5	0
	NW-2	3	4	4	3	4	1	4	0
	NW-3	3	2	4	5	3	5	2	5

Comportamento Direcional Contra o Talude	Leitura	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
	Soma	6	12	11	7	9	17	9	17
	N-1	0	1	2	0	1	2	1	3
	N-2	0	2	4	0	0	4	0	3
	NW-1	2	0	2	3	2	5	0	5
	NW-2	1	0	0	1	0	3	0	4
	NW-3	3	4	2	1	3	1	4	1
	NW-4	0	1	0	0	1	2	0	0
	NW-5	0	0	0	0	0	0	0	1
	SW-1	0	1	1	0	1	0	1	0
	W-1	0	3	0	2	1	0	3	0

**Tabela 2-16. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em
Análise Bidimensional Plana (x, y).**

Leitura	1	2	3	4	5	6	7	8
Soma	17-18	15-15	16-17	17-20	15-15	7-7	14-15	4-5
N-1	1-1	2-2	1-1	2-2	0-0	0-0	2-2	0-0
N-2	3-3	0-0	0-0	3-4	3-3	0-0	2-2	1-1
NW-1	2-2	3-3	3-3	1-2	3-3	0-0	1-2	0-0
NW-2	3-3	4-4	4-4	3-3	4-4	1-1	4-4	0-0
NW-3	2-3	2-2	4-4	5-5	3-3	2-2	1-1	1-1
NW-4	2-2	1-1	1-1	1-1	0-0	0-0	2-2	0-0
NW-5	0-0	3-3	1-2	0-1	1-1	3-3	2-2	0-1
SW-1	1-1	0-0	0-0	1-1	0-0	0-0	0-0	0-0
W-1	3-3	0-0	2-2	1-1	1-1	1-1	0-0	2-2

Leitura	1	2	3	4	5	6	7	8
Soma	7-6	4-4	4-3	7-4	7-7	7-7	8-7	10-9
N-1	1-1	0-0	0-0	1-1	2-2	1-1	0-0	0-0
N-2	1-1	2-2	0-0	1-0	1-1	0-0	2-2	0-0
NW-1	1-1	2-2	0-0	1-0	0-0	0-0	4-3	0-0
NW-2	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
NW-3	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	3-3	1-1	4-4
NW-4	0-0	0-0	1-1	1-1	1-1	0-0	0-0	2-2
NW-5	3-3	0-0	2-1	3-2	2-2	0-0	1-1	2-1
SW-1	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-1	0-0	1-1
W-1	0-0	0-0	1-1	0-0	1-1	2-2	0-0	1-1

**Tabela 2-17. Contagem de marcos superficiais para as situações estudadas em
Análise Tridimensional Espacial (x, y, z).**

Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Análise Bidimensional Plana (x, y)

- Os setores Noroeste (NW-1, NW-2 e NW-3) apresentaram os maiores números de ocorrências de *Comportamento Direcional Normal* no período analisado, com 21, 23 e 29 registros, respectivamente, de um total de 105 casos.
- Os setores Noroeste 1 (NW-2), Noroeste 2 (NW-2) e Norte 2 (N-2) apresentaram os maiores números de ocorrências de *Comportamento Direcional Contra o Talude* no período analisado, com 19, 19 e 13 registros, respectivamente, de um total de 88 casos.

Análise Tridimensional Espacial (x, y, z)

- O setor Noroeste 2 (NW-2) apresentou o maior número de ocorrências de Comportamento Deformacional Desejável no período analisado, com 46 casos, sendo 23 no modo local (β) e 23 no modo geral (β_{MED}), de um total de 217 casos registrados.
- O setor Noroeste 5 (NW-5) apresentou o maior número de ocorrências de Comportamento Deformacional Não Desejável no período analisado, com 23 casos, sendo 13 no modo local (β) e 10 no modo geral (β_{MED}), respectivamente, de um total de 101 casos.

Com os dados disponíveis, conclui-se que a magnitude das velocidades de recalque e deslocamento horizontal são relativamente baixas no período analisado, e que os comportamentos direcionais e deformacionais não indicam consequências significativas para a estabilidade geotécnica do aterro. Contudo, exige-se periódicas inspeções, especialmente nos setores Noroeste onde foi registrado os maiores números de ocorrências de Comportamento Deformacional Não Desejável.

3 PIEZOMÊTROS

Piezômetros tipo Geotech tem a finalidade de registrar dados de níveis piezométricos (metros de coluna de chorume) e pressões de biogás (se houver) em aterros de resíduos, registrando fidedignamente as poropressões internas.

No aterro sanitário estão locados 11 piezômetros Tipo Geotech, sendo 05 piezômetros instalados pela Geotech em maio de 2020 e 06 piezômetros instalados pela própria DEMSUR em setembro de 2025. Destaca-se que alguns piezômetros sofreram prolongamento do tubo, devido ao alteamento da camada de resíduos.

As profundidades finais de instalação e das células piezométricas atualizadas são apresentadas na tabela a seguir:

Piezômetro	Profundidade Total do piezômetro (m)	Profundidade da célula piezométrica (m)
PZ-01	5,55	5,05
PZ-02	7,39	6,89
PZ-03	8,71	8,21
PZ-04	5,99	5,49
PZ-05	6,53	6,03
PZ-06	8,42	7,92
PZ-07	6,89	6,39
PZ-08	9,62	9,12
PZ-09	10,01	9,51
PZ-10	11,5	11
PZ-11	5,1	4,6

Tabela 3-1. Profundidade dos piezômetros e das células piezométricas instaladas no Aterro Sanitário de Muriaé.

Na figura a seguir é apresentado a locação dos piezômetros no maciço de resíduos do aterro sanitário de Muriaé/MG.

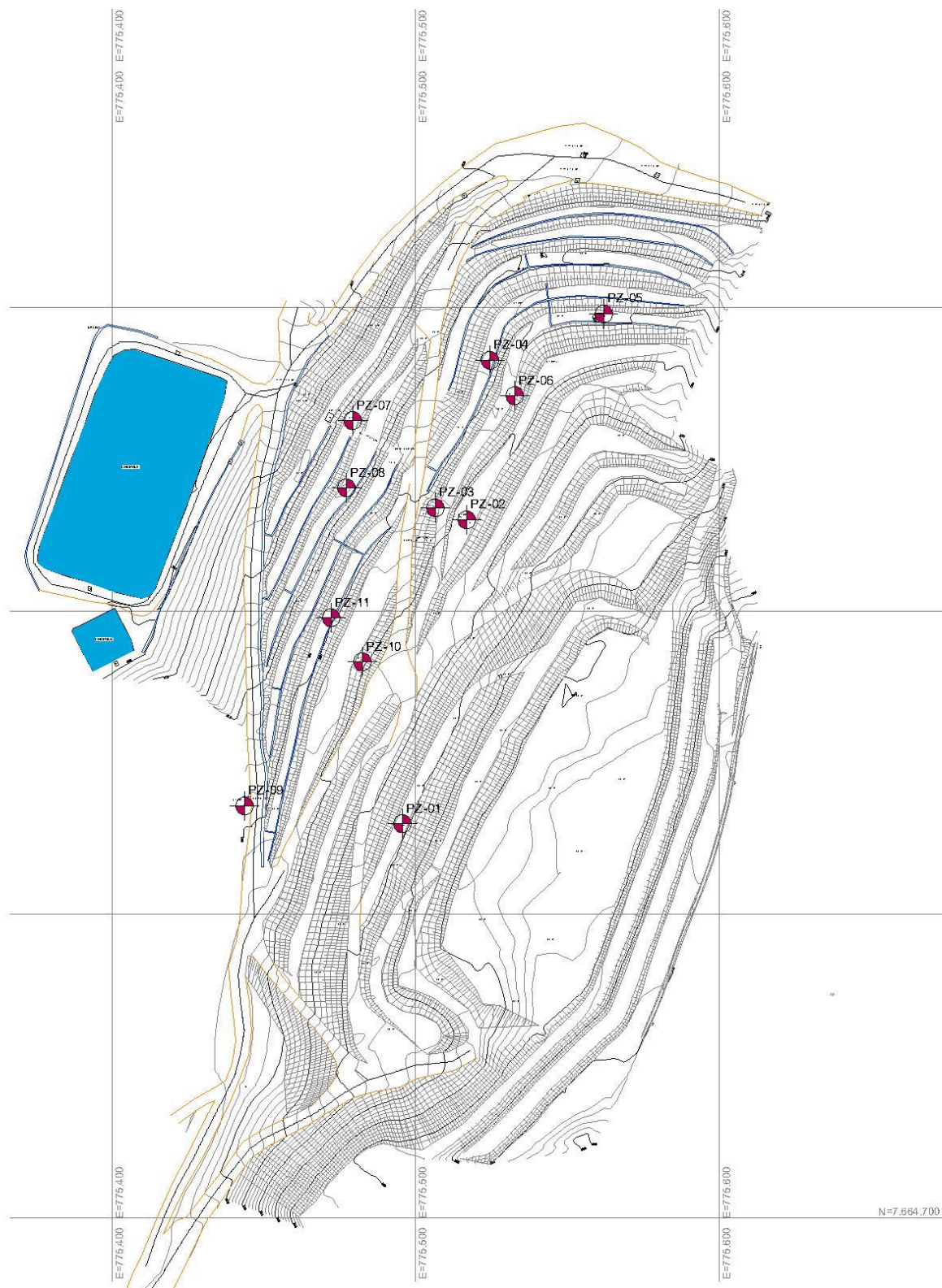


Figura 3-1. Localização dos 11 piezômetros no Aterro Sanitário de Muriaé.

3.1 Resultado das leituras realizadas

No período de 26/01/2026 a 30/04/2026 foram realizadas 22 leituras nos 11 piezômetros instalados no Aterro Sanitário de Muriaé/MG, pela própria equipe técnica da DEMSUR, conforme orientações dadas pela GEOTECH.

Na Tabela 3-2 são apresentadas as profundidades do nível de lixiviados nos piezômetros, em função das leituras para cada piezômetro analisado.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	PZ-11
L1	26/01/26	5,48	4,67	5,99	4,60	-	6,61	6,14	9,73	5,18	6,53	*
L2	29/01/26	3,83	6,44	6,12	3,72	-	6,46	6,05	9,66	5,59	6,48	*
L3	02/02/26	4,86	6,25	5,92	3,42	-	6,39	5,96	9,60	5,26	6,40	*
L4	06/02/26	4,86	4,49	5,79	4,23	-	6,39	5,90	9,60	4,90	6,27	*
L5	10/02/26	4,79	4,76	5,65	3,88	-	6,31	5,87	9,31	4,68	6,17	*
L6	13/02/26	4,83	6,01	5,55	3,65	-	6,24	5,88	9,27	4,55	6,14	*
L7	24/02/26	5,00	4,51	5,18	3,35	-	6,08	5,83	9,34	4,65	6,17	*
L8	02/03/26	4,46	5,86	4,95	3,15	-	6,23	5,81	9,36	4,67	6,20	*
L9	06/03/26	4,62	5,84	4,40	3,28	-	6,15	5,82	9,25	4,81	6,23	*
L10	10/03/26	4,94	5,74	4,39	3,45	-	6,22	5,85	9,22	4,87	6,23	1,72
L11	13/03/26	4,55	5,65	4,45	3,14	-	6,12	5,82	9,27	4,92	6,28	3,80
L12	17/03/26	4,71	5,83	4,59	3,03	-	6,25	5,83	9,31	4,93	6,31	4,97
L13	20/03/26	4,72	5,84	4,67	3,18	-	6,28	5,84	9,35	4,95	6,32	4,97
L14	23/03/26	4,67	5,82	4,83	3,25	-	6,25	5,81	9,39	4,99	6,29	4,97
L15	26/03/26	4,52	5,92	4,85	3,44	-	6,31	5,82	9,40	5,02	6,28	4,97
L16	30/03/26	4,54	5,88	4,88	3,08	-	6,19	5,82	9,42	5,02	6,30	4,97
L17	07/04/26	4,60	5,96	4,80	3,96	-	6,29	5,82	9,52	5,02	6,30	5,33
L18	10/04/26	4,61	6,00	4,70	4,15	-	6,31	5,82	9,45	5,05	6,32	5,33
L19	16/04/26	4,64	6,03	4,40	4,86	-	6,38	5,84	9,51	5,13	6,38	5,35
L20	23/04/26	4,69	6,20	5,64	6,09	-	6,38	6,04	9,59	5,79	6,43	4,97
L21	27/04/26	4,65	6,21	5,81	5,18	-	6,36	6,01	9,59	5,78	6,46	4,91
L22	30/04/26	4,44	6,23	6,00	3,47	-	6,32	6,02	9,61	5,76	6,53	4,82

(-) – Leitura de profundidade do nível de lixiviados não obtida devido à alta pressão de gás no interior do piezômetro, sendo assim, considerada a pressão de gás como poropressão do piezômetro. (*) – Leitura não realizada inicialmente.

Tabela 3-2. Leituras das profundidades do nível de lixiviados dos piezômetros (metros).

Na Tabela 3-3 são apresentadas as pressões de gás nos piezômetros, em função das leituras para cada piezômetro analisado.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	PZ-11
L1	26/01/26	0,309	0,021	0,000	0,107	0,294	0,002	0,007	0,026	0,006	0,002	*
L2	29/01/26	0,301	0,002	0,006	0,106	0,282	0,008	0,004	0,013	0,000	0,004	*
L3	02/02/26	0,305	0,002	0,014	0,106	0,296	0,008	0,002	0,003	0,049	0,004	*
L4	06/02/26	0,308	0,023	0,015	0,103	0,258	0,001	0,018	0,008	0,035	0,000	*
L5	10/02/26	0,307	0,028	0,006	0,111	0,285	0,020	0,000	0,009	0,021	0,000	*
L6	13/02/26	0,303	0,001	0,019	0,105	0,290	0,011	0,000	0,000	0,006	0,000	*
L7	24/02/26	0,302	0,029	0,003	0,101	0,294	0,049	0,000	0,025	0,003	0,000	*
L8	02/03/26	0,294	0,002	0,010	0,106	0,303	0,016	0,000	0,002	0,000	0,000	*
L9	06/03/26	0,291	0,000	0,010	0,109	0,293	0,032	0,000	0,007	0,000	0,000	*
L10	10/03/26	0,290	0,026	0,000	0,096	0,277	0,032	0,000	0,035	0,000	0,000	0,037
L11	13/03/26	0,297	0,025	0,000	0,110	0,289	0,030	0,000	0,046	0,000	0,000	0,082
L12	17/03/26	0,290	0,001	0,000	0,112	0,290	0,030	0,000	0,030	0,000	0,000	0,087
L13	20/03/26	0,291	0,001	0,005	0,115	0,294	0,032	0,000	0,042	0,000	0,000	0,087
L14	23/03/26	0,291	0,000	0,009	0,119	0,296	0,017	0,007	0,039	0,000	0,000	0,089
L15	26/03/26	0,287	0,000	0,006	0,111	0,292	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,083
L16	30/03/26	0,288	0,001	0,002	0,113	0,288	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,081
L17	07/04/26	0,289	0,000	0,019	0,110	0,292	0,040	0,000	0,026	0,000	0,000	0,082
L18	10/04/26	0,288	0,000	0,010	0,111	0,290	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081
L19	16/04/26	0,288	0,002	0,003	0,110	0,287	0,028	0,000	0,005	0,000	0,000	0,082
L20	23/04/26	0,278	0,002	0,000	0,107	0,288	0,034	0,138	0,000	0,000	0,000	0,078
L21	27/04/26	0,276	0,001	0,000	0,109	0,285	0,025	0,120	0,000	0,000	0,000	0,079
L22	30/04/26	0,275	0,000	0,001	0,113	0,282	0,012	0,114	0,000	0,000	0,000	0,078

(*) – Leitura não realizada inicialmente.

Tabela 3-3. Leituras da pressão de biogás nos piezômetros (kgf/cm²).

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	PZ-11
L1	26/01/26	1,02	3,89	3,60	1,80	-	2,37	1,46	0,82	5,35	6,03	-
L2	29/01/26	2,67	2,12	3,47	2,68	-	2,52	1,55	0,89	4,94	6,08	-
L3	02/02/26	1,64	2,31	3,67	2,98	-	2,59	1,64	0,95	5,27	6,16	-
L4	06/02/26	1,64	4,07	3,80	2,17	-	2,59	1,70	0,95	5,63	6,29	-
L5	10/02/26	1,71	3,80	3,94	2,52	-	2,67	1,73	1,24	5,85	6,39	-
L6	13/02/26	1,67	2,55	4,04	2,75	-	2,74	1,72	1,28	5,98	6,42	-
L7	24/02/26	1,50	4,05	4,41	3,05	-	2,90	1,77	1,21	5,88	6,39	-
L8	02/03/26	2,04	2,70	4,64	3,25	-	2,75	1,79	1,19	5,86	6,36	-
L9	06/03/26	1,88	2,72	5,19	3,12	-	2,83	1,78	1,30	5,72	6,33	-
L10	10/03/26	1,56	2,82	5,20	2,95	-	2,76	1,75	1,33	5,66	6,33	3,78
L11	13/03/26	1,95	2,91	5,14	3,26	-	2,86	1,78	1,28	5,61	6,28	1,70
L12	17/03/26	1,79	2,73	5,00	3,37	-	2,73	1,77	1,24	5,60	6,25	0,53
L13	20/03/26	1,78	2,72	4,92	3,22	-	2,70	1,76	1,20	5,58	6,24	0,53
L14	23/03/26	1,83	2,74	4,76	3,15	-	2,73	1,79	1,16	5,54	6,27	0,53
L15	26/03/26	1,98	2,64	4,74	2,96	-	2,67	1,78	1,15	5,51	6,28	0,53
L16	30/03/26	1,96	2,68	4,71	3,32	-	2,79	1,78	1,13	5,51	6,26	0,53
L17	07/04/26	1,90	2,60	4,79	2,44	-	2,69	1,78	1,03	5,51	6,26	0,17
L18	10/04/26	1,89	2,56	4,89	2,25	-	2,67	1,78	1,10	5,48	6,24	0,17
L19	16/04/26	1,86	2,53	5,19	1,54	-	2,60	1,76	1,04	5,40	6,18	0,15
L20	23/04/26	1,81	2,36	3,95	0,31	-	2,60	1,56	0,96	4,74	6,13	0,53
L21	27/04/26	1,85	2,35	3,78	1,22	-	2,62	1,59	0,96	4,75	6,10	0,59
L22	30/04/26	2,06	2,33	3,59	2,93	-	2,66	1,58	0,94	4,77	6,03	0,68

(-) – Leitura de profundidade do nível de lixiviados não obtida devido à alta pressão de gás no interior do piezômetro, sendo assim, considerada a pressão de gás como poropressão do piezômetro. (*) – Leitura não realizada inicialmente.

Tabela 3-4. Pressão de lixiviados calculada nos piezômetros, coluna de lixiviados (metros).

3.2 Resultados dos coeficientes r_u

Os resultados das poropressões dos lixiviados, e de biogás, permitem a realização do cálculo do coeficiente r_u – *pore pressure ratio* (BISHOP e MORGENSTERN, 1960). Assim, nas tabelas a seguir, apresentam-se os valores de r_u calculados em função dos valores de nível de lixiviados e pressão de biogás medidos no período considerado e, por fim, os valores de $r_{u \text{ total}}$ (total), considerando dos valores de nível de lixiviados e pressão de biogás.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	PZ-11
L1	26/01/26	0,20	0,56	0,44	0,33	-	0,30	0,23	0,09	0,56	0,55	
L2	29/01/26	0,53	0,31	0,42	0,49	-	0,32	0,24	0,10	0,52	0,55	
L3	02/02/26	0,32	0,34	0,45	0,54	-	0,33	0,26	0,10	0,55	0,56	
L4	06/02/26	0,32	0,59	0,46	0,40	-	0,33	0,27	0,10	0,59	0,57	
L5	10/02/26	0,34	0,55	0,48	0,46	-	0,34	0,27	0,14	0,62	0,58	
L6	13/02/26	0,33	0,37	0,49	0,50	-	0,35	0,27	0,14	0,63	0,58	
L7	24/02/26	0,30	0,59	0,54	0,56	-	0,37	0,28	0,13	0,62	0,58	
L8	02/03/26	0,40	0,39	0,57	0,59	-	0,35	0,28	0,13	0,62	0,58	
L9	06/03/26	0,37	0,39	0,63	0,57	-	0,36	0,28	0,14	0,60	0,58	
L10	10/03/26	0,31	0,41	0,63	0,54	-	0,35	0,27	0,15	0,60	0,58	0,82
L11	13/03/26	0,39	0,42	0,63	0,59	-	0,36	0,28	0,14	0,59	0,57	0,37
L12	17/03/26	0,35	0,40	0,61	0,61	-	0,34	0,28	0,14	0,59	0,57	0,12
L13	20/03/26	0,35	0,39	0,60	0,59	-	0,34	0,28	0,13	0,59	0,57	0,12
L14	23/03/26	0,36	0,40	0,58	0,57	-	0,34	0,28	0,13	0,58	0,57	0,12
L15	26/03/26	0,39	0,38	0,58	0,54	-	0,34	0,28	0,13	0,58	0,57	0,12
L16	30/03/26	0,39	0,39	0,57	0,60	-	0,35	0,28	0,12	0,58	0,57	0,12
L17	07/04/26	0,38	0,38	0,58	0,44	-	0,34	0,28	0,11	0,58	0,57	0,04
L18	10/04/26	0,37	0,37	0,60	0,41	-	0,34	0,28	0,12	0,58	0,57	0,04
L19	16/04/26	0,37	0,37	0,63	0,28	-	0,33	0,28	0,11	0,57	0,56	0,03
L20	23/04/26	0,36	0,34	0,48	0,06	-	0,33	0,24	0,11	0,50	0,56	0,12
L21	27/04/26	0,37	0,34	0,46	0,22	-	0,33	0,25	0,11	0,50	0,55	0,13
L22	30/04/26	0,41	0,34	0,44	0,53	-	0,34	0,25	0,10	0,50	0,55	0,15

(-) – Leitura de profundidade do nível de lixiviados não obtida devido à alta pressão de gás no interior do piezômetro, sendo assim, considerada a pressão de gás como poropressão do piezômetro. (*) – Leitura não realizada inicialmente.

Tabela 3-5. Coeficiente r_u dos piezômetros em função da pressão de lixiviados.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	PZ-11
L1	26/01/26	0,61	0,03	0,00	0,19	0,49	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	
L2	29/01/26	0,60	0,00	0,01	0,19	0,47	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	
L3	02/02/26	0,60	0,00	0,02	0,19	0,49	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	
L4	06/02/26	0,61	0,03	0,02	0,19	0,43	0,00	0,03	0,01	0,04	0,00	
L5	10/02/26	0,61	0,04	0,01	0,20	0,47	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	
L6	13/02/26	0,60	0,00	0,02	0,19	0,48	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
L7	24/02/26	0,60	0,04	0,00	0,18	0,49	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	
L8	02/03/26	0,58	0,00	0,01	0,19	0,50	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	
L9	06/03/26	0,58	0,00	0,01	0,20	0,49	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	
L10	10/03/26	0,57	0,04	0,00	0,17	0,46	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,08
L11	13/03/26	0,59	0,04	0,00	0,20	0,48	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,18
L12	17/03/26	0,57	0,00	0,00	0,20	0,48	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,19
L13	20/03/26	0,58	0,00	0,01	0,21	0,49	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,19
L14	23/03/26	0,58	0,00	0,01	0,22	0,49	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,19
L15	26/03/26	0,57	0,00	0,01	0,20	0,48	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
L16	30/03/26	0,57	0,00	0,00	0,21	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
L17	07/04/26	0,57	0,00	0,02	0,20	0,48	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,18
L18	10/04/26	0,57	0,00	0,01	0,20	0,48	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
L19	16/04/26	0,57	0,00	0,00	0,20	0,48	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,18
L20	23/04/26	0,55	0,00	0,00	0,19	0,48	0,04	0,22	0,00	0,00	0,00	0,17
L21	27/04/26	0,55	0,00	0,00	0,20	0,47	0,03	0,19	0,00	0,00	0,00	0,17
L22	30/04/26	0,54	0,00	0,00	0,21	0,47	0,02	0,18	0,00	0,00	0,00	0,17

Tabela 3-6. Coeficiente r_u dos piezômetros em função da pressão de biogás.

Leitura	Data	PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10	PZ-11
L1	26/01/26	0,81	0,60	0,44	0,52	0,49	0,30	0,24	0,12	0,57	0,55	
L2	29/01/26	1,12	0,31	0,43	0,68	0,47	0,33	0,25	0,11	0,52	0,56	
L3	02/02/26	0,93	0,34	0,46	0,74	0,49	0,34	0,26	0,11	0,61	0,56	
L4	06/02/26	0,93	0,62	0,48	0,58	0,43	0,33	0,29	0,11	0,63	0,57	
L5	10/02/26	0,95	0,59	0,49	0,66	0,47	0,36	0,27	0,15	0,64	0,58	
L6	13/02/26	0,93	0,37	0,52	0,69	0,48	0,36	0,27	0,14	0,64	0,58	
L7	24/02/26	0,90	0,63	0,54	0,74	0,49	0,43	0,28	0,16	0,62	0,58	
L8	02/03/26	0,99	0,39	0,58	0,79	0,50	0,37	0,28	0,13	0,62	0,58	
L9	06/03/26	0,95	0,39	0,64	0,77	0,49	0,40	0,28	0,15	0,60	0,58	
L10	10/03/26	0,88	0,45	0,63	0,71	0,46	0,39	0,27	0,18	0,60	0,58	0,90
L11	13/03/26	0,97	0,46	0,63	0,79	0,48	0,40	0,28	0,19	0,59	0,57	0,55
L12	17/03/26	0,93	0,40	0,61	0,82	0,48	0,38	0,28	0,17	0,59	0,57	0,30
L13	20/03/26	0,93	0,40	0,61	0,80	0,49	0,38	0,28	0,18	0,59	0,57	0,30
L14	23/03/26	0,94	0,40	0,59	0,79	0,49	0,37	0,29	0,17	0,58	0,57	0,31
L15	26/03/26	0,96	0,38	0,58	0,74	0,48	0,38	0,28	0,13	0,58	0,57	0,30
L16	30/03/26	0,96	0,39	0,58	0,81	0,48	0,36	0,28	0,12	0,58	0,57	0,29
L17	07/04/26	0,95	0,38	0,61	0,64	0,48	0,39	0,28	0,14	0,58	0,57	0,22
L18	10/04/26	0,94	0,37	0,61	0,61	0,48	0,38	0,28	0,12	0,58	0,57	0,21
L19	16/04/26	0,94	0,37	0,64	0,48	0,48	0,36	0,28	0,12	0,57	0,56	0,21
L20	23/04/26	0,91	0,35	0,48	0,25	0,48	0,37	0,46	0,11	0,50	0,56	0,28
L21	27/04/26	0,91	0,34	0,46	0,42	0,47	0,36	0,44	0,11	0,50	0,55	0,30
L22	30/04/26	0,95	0,34	0,44	0,74	0,47	0,35	0,43	0,10	0,50	0,55	0,32

Tabela 3-7. Coeficiente r_u total dos piezômetros em função da pressão de biogás e pressão lixiviados.

Na figura a seguir é apresentado a locação dos 11 piezômetros, sendo cada um deles identificado pelas cores verde, laranja ou vermelho. Cada cor representa a classificação do piezômetro quanto ao valor de seu r_u total, conforme segue:

- ✓ Cor verde: $r_u < 0,20$;
- ✓ Cor laranja: $0,20 < r_u < 0,40$
- ✓ Cor vermelha: $r_u > 0,40$.

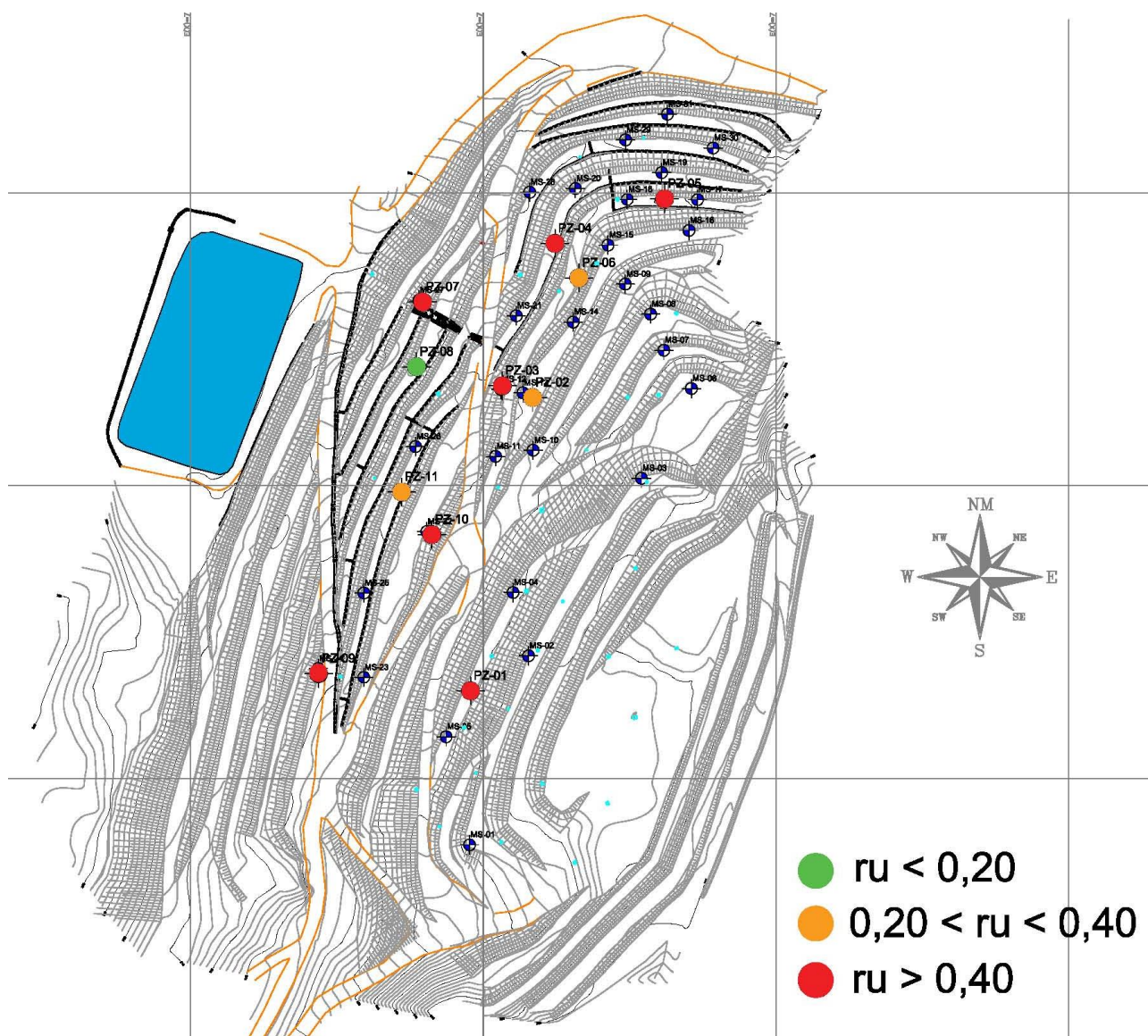


Figura 3-2. Identificação e classificação dos piezômetros quanto ao valor do r_u total.

4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A análise de estabilidade buscou representar as condições fidedignas das seções consideradas geotecnicamente, mais críticas, considerando a conformação geométrica atual do maciço de resíduos do aterro sanitário (Cenário Atual) e a de prosseguimento das atividades de disposição e compactação dos resíduos, através da proposição do cenário de desmobilização parcial da lagoa principal de armazenamento de lixiviados e execução de dique de solo compactado (Cenário de Ampliação). Reitera-se que neste cenário não contempla ampliação da área do perímetro de resíduos.

4.1 Método de Análise

Para as análises de estabilidade foi utilizado o método de equilíbrio limite baseado no método das lamelas apresentado por Spencer (1967).

O programa computacional, considera as superfícies circulares e não circulares, a possibilidade de representação de vários tipos de materiais, possibilidades de simulação de poro pressões por pontos, sobre pressões, linhas piezométricas e coeficiente r_u de Bishop e Morgenstern (1960), com pesquisa de superfície crítica, de mínimo fator de segurança.

Foram consideradas na análise de estabilidade geotécnica, superfícies circulares, porque são consideradas de maior probabilidade de ocorrência no interior da massa de resíduos e superfícies de rupturas não circulares condicionadas assim, devido a existência de argila mole nos solos de fundação do aterro.

O modelo matemático busca, automaticamente, a superfície de menor fator de segurança, de forma que, em todas as análises, são definidas superfícies mais críticas de cada seção.

Deve-se destacar que a resistência dos resíduos sólidos constitui um dos principais parâmetros que influenciam a estabilidade geotécnica do maciço, bem como as condições de drenagem interna e superficial e a geometria do talude, especialmente em relação à sua altura, inclinação e geomorfologia da base de assentamento do aterro sanitário. Devido ao

contexto geológico-geotécnico da área do aterro sanitário, tornam-se igualmente importantes os condicionantes geotécnicos de fundação e iterações atribuídas das interfaces de acordo com os geossintéticos aplicados em sua construção.

4.2 Geometria e situações estudadas

Conforme descrito anteriormente, de acordo com o levantamento topográfico atualizado de abril de 2026, foram analisadas as seguintes situações:

- **Cenário Atual** – Considerando-se a conformação geométrica atual; e
- **Cenário de Ampliação** – Implantação do dique de disparo em solo compactado e disposição de resíduos até atingir a cota 325,0 m, conforme o Arranjo do Pré-Projeto apresentado no Anexo I, Folha 02/02.

Para o Cenário Atual foram definidas e traçadas as seções críticas geotécnicas, de acordo com o levantamento topográfico de abril de 2026, sendo estas mesma seções, consideradas para a definição da geometria do Cenário de Ampliação, com a reconformação geométrica do maciço de resíduos e implantação de um novo dique de disparo de solo compactado. Nas figuras a seguir são apresentadas estas seções, em ambas as situações supracitadas.

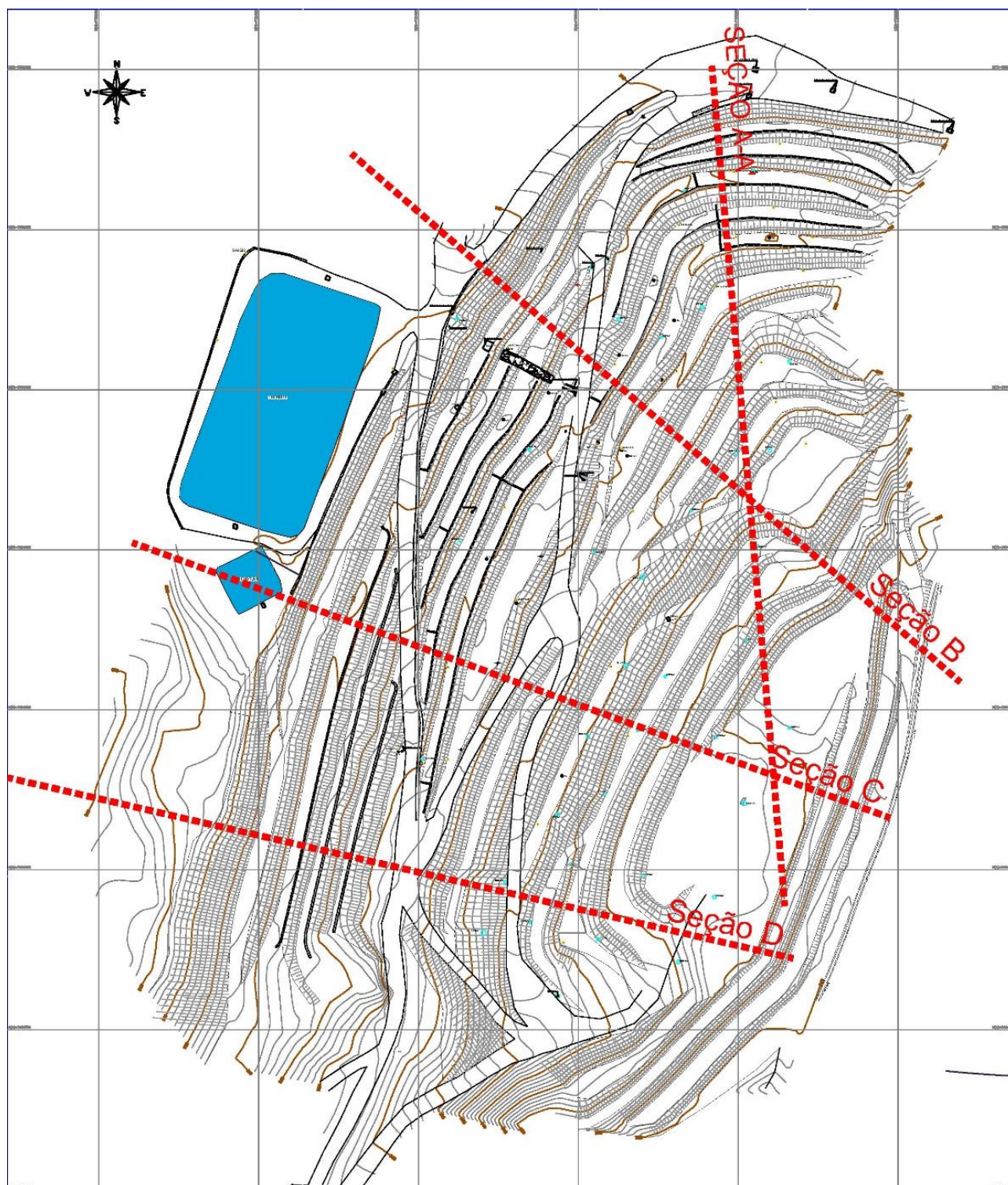


Figura 4-1. Cenário Atual - Locação das seções críticas de análise de estabilidade no âmbito do levantamento topográfico atual.

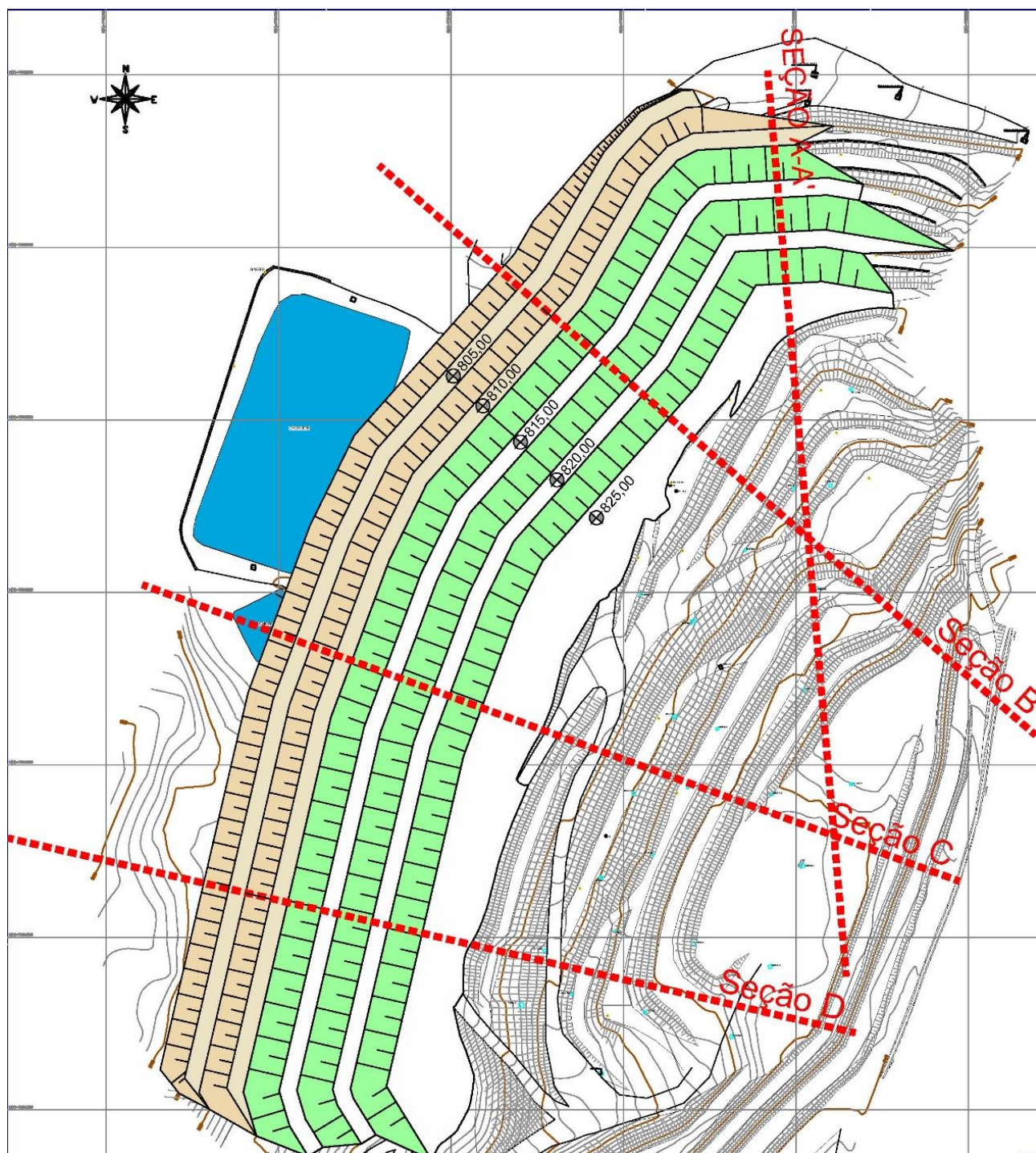


Figura 4-2. Cenário de Ampliação - Locação das seções de análise de estabilidade, com a reconformação geométrica do maciço de resíduos do aterro sanitário de Muriaé, até atingir a cota 325,0 m.

4.3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos

Apesar da heterogeneidade aparente dos resíduos, os parâmetros de resistência médios que preponderam na estabilidade de grandes massas são os representativos dos maiores volumes, que no caso, são os resíduos de origem domiciliar.

Através dos índices obtidos nos ensaios de prospecção no maciço do aterro sanitário de Muriaé, foram estimados os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos, segundo Benvenuto & Benvenuto (2012).

Desse modo, utilizando-se como referência o índice de resistência a penetração dinâmica médio geral obtido (N_{IRP} médio = 14 golpes), resultaram os valores de coesão efetiva de 18,2 kPa e ângulo de atrito interno dos resíduos de 28,0°.

Deve ser considerado que os parâmetros apresentados representam o comportamento médio da massa de resíduos e, a aleatoriedade e variabilidade inerente às peculiaridades dos resíduos a serem dispostos, devem ser consideradas de maneira local, se esse for o caso de análise.

4.3.1 Justificativa para a adoção de parâmetros de resistência ao cisalhamento para os resíduos

Conforme descrito anteriormente, no período compreendido entre 20 a 23/05/2020 foram instalados 10 piezômetros no maciço de resíduos do aterro sanitário.

Nas perfurações, o avanço foi realizado a seco, com ensaio IRP – Índice de Resistência a Penetração em cada metro de perfuração, com a finalidade de determinar os índices de resistência a penetração, N_{IRP} dos resíduos, conforme apresentado na Tabela 4-1 a seguir.

		PZ-01	PZ-02	PZ-03	PZ-04	PZ-05	PZ-06	PZ-07	PZ-08	PZ-09	PZ-10
	Cota (m)	305,58	296,53	311,74	309,16	299,32	307,70	299,99	302,26	304,07	306,28
De (m)	Até (m)										
1,00	1,45	12	4	16	8	4	8	5	13	11	8
2,00	2,45	5	8	9	5	5	11	8	16	13	10
3,00	3,45	12	13	4	4	7	14	13	16	8	16
4,00	4,45	20	12	13	9	11	21	22	13	20	26
5,00	5,45	17	10	17	10	9	18	15	18	25	12
6,00	6,45	26	8	16	16	17	20	19		21	17
7,00	7,45			33	13	20	31	26		25	29
8,00	8,45				30	30	12			16	
9,00	9,45					46	17			40	
10,00	10,45						18				
11,00	11,45						17				
NIRP Médio Geral		14 Golpes									

*Média geral obtida considerando-se somente valores de NIRP < 30

Tabela 4-1. Índices de resistência à penetração, NIRP, obtidos nos ensaios realizados no maciço de resíduos do aterro sanitário.

Os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos foram considerados como sendo a condição atual dos resíduos domiciliares e da compactação usualmente empregada por tratores de esteira, adotando-se os parâmetros estimados segundo Benvenuto & Benvenuto (2012).

Assim, para melhor caracterizar geotecnicaamente os maciços de resíduos do aterro sanitário, foram realizadas sondagens geotécnicas à percussão com medidas NIRP, nas quais resultaram em um índice de resistência a penetração dinâmica médio, NIRP médio de 14 golpes, como já citado.

Analisando-se os índices de resistência a penetração das sondagens realizadas, considerando que os resíduos são mais drenantes que os solos, e a resistência ao cisalhamento total compõe-se com parcela de atrito e a de coesão, os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos resíduos foram estimados segundo Benvenuto & Benvenuto (2012), com coesão efetiva de 18,2 KPa, e ângulo de atrito de 28°.

4.3.2 Parâmetros de resistência dos solos compactados, naturais e de interface adotados na análise de estabilidade

Em aterros de meia encosta, deve ser levado em consideração na análise de estabilidade, o condicionante geotécnico atribuído a interface da camada de solo argiloso saturado de proteção e a geomembrana de PEAD lisa. No âmbito da concepção do projeto de escavação, foram adotadas declividades dos taludes escavados sem a realização de bermas ou adoção de alternativas tecnológicas que minimizassem este aspecto, associadas ao relativamente baixo confinamento geotécnico do maciço de resíduos contra o solo escavado.

Assim, a superfície de ruptura tende a mobilizar a massa diretamente associada a interface da camada de solo argiloso saturado de proteção e a geomembrana de PEAD lisa. Sendo assim, nesta análise foram adotados os parâmetros de resistência ao cisalhamento da referida interface, resultando-se em valores de coesão efetiva de 3 kPa e ângulo de atrito de 12° e peso específico de 10 kN/m³ (Vidal, 2007).

Os valores dos solos naturais e compactados foram considerados de acordo com a publicação da ABMS (1993), na ocorrência de solos semelhantes ensaiados no Estado de São Paulo. Na Tabela 4-2 a seguir são apresentados os valores de resistência adotados na análise de estabilidade.

4.3.3 Síntese dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais adotados nas hipóteses assumidas

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais, conforme citados e utilizados na análise de estabilidade em questão, são apresentados na tabela a seguir.

nº	Material	c' (kPa)	ϕ'	γ (kN/m³)	Referência
1	Resíduos	18,2	28°	8,5	Benvenuto & Benvenuto (2012)
2	Material de Enchete	10,0	20°	5,0	Adaptado Benvenuto & Cunha (1991)
3	Dique de Solo Compacto	20,0	30°	19,0	Cruz et al (1993)
4	Solo Natural	18,0	32°	18,0	Pinto et al (1993)
5	Solo de Proteção	20,0	30°	19,0	Cruz et al (1993)
6	Interface Solo x GMB Lisa	3,0	12°	10,0	Adaptado de Vidal (2007)

Tabela 4-2. Parâmetros de resistência ao cisalhamento adotados na análise de estabilidade.

Onde:

c' = coesão média efetiva;

ϕ' = ângulo de atrito médio efetivo;

γ = peso específico médio.

4.4 Critérios de pressões de líquidos e gases adotados – poropressões nos resíduos

O desempenho dos sistemas de drenagem de líquidos e gases é a base para a estabilidade dos maciços sanitários, adotando-se critérios de poropressões compatíveis com a concepção e o desempenho destes sistemas. Secundariamente, contribuem para os valores das poropressões os sistemas de cobertura, provisórias e definitivas, além da evolução da frente de trabalho e sistema de drenagem superficial.

O comportamento da massa de resíduos doméstico é peculiar, principalmente, em função do fator “geração de gases” e suas pressões, como tem demonstrado os registros das instrumentações, através de piezômetros e medidas de deformações em aterros sanitários em geral.

Deste modo, na análise de estabilidade foi adotado o fator de pressão neutra r_u constante dentro da massa de resíduos, com $r_u = u/\gamma z$, onde u é a poropressão, γ é o peso específico do material e z é a altura de material sobre o ponto considerado, usado por Bishop e Morgenstern (1960). Variou-se o fator r_u , de 0,00 a 0,70, de forma a obter a variação do fator de segurança do maciço para várias condições de poropressões.

4.5 Resultados obtidos

Com base na geometria das seções adotadas foi possível obter os Fatores de Segurança para o Aterro Sanitário de Muriaé, considerando a situação atual e o cenário de ampliação até a cota 325,0 m).

Adotando-se a variação do fator r_u , de 0,00 a 0,70, foram realizadas as análises de estabilidade em cada seção para situação atual e no cenário de ampliação, com análises de superfícies hipotéticas de ruptura circulares, conforme apresentado nas tabelas a seguir:

Fator de Segurança, FS								
	Seção A-A'		Seção B-B'		Seção C-C'		Seção C-C'	
r_u	Atual	Ampliação	Atual	Ampliação	Atual	Ampliação	Atual	Ampliação
0,0	3,38	3,38	2,10	2,24	2,32	2,45	2,25	2,47
0,1	3,08	3,17	2,08	2,20	2,24	2,37	2,24	2,44
0,2	2,82	2,90	2,03	2,15	2,04	2,18	2,23	2,41
0,3	2,56	2,63	1,98	2,10	1,85	1,99	2,07	2,30
0,4	2,30	2,37	1,89	2,00	1,66	1,80	1,89	2,10
0,5	2,03	2,10	1,72	1,84	1,47	1,60	1,70	1,89
0,6	1,77	1,83	1,50	1,60	1,28	1,41	1,52	1,69
0,7	1,51	1,56	1,29	1,35	1,09	1,21	1,34	1,48

Tabela 4-3. Valores de Fator de Segurança obtidos para cada seção analisada no âmbito da situação atual e de ampliação.

Os valores obtidos de Fator de Segurança, FS são apresentados nos gráficos a seguir, em função do r_u para cada seção analisada.

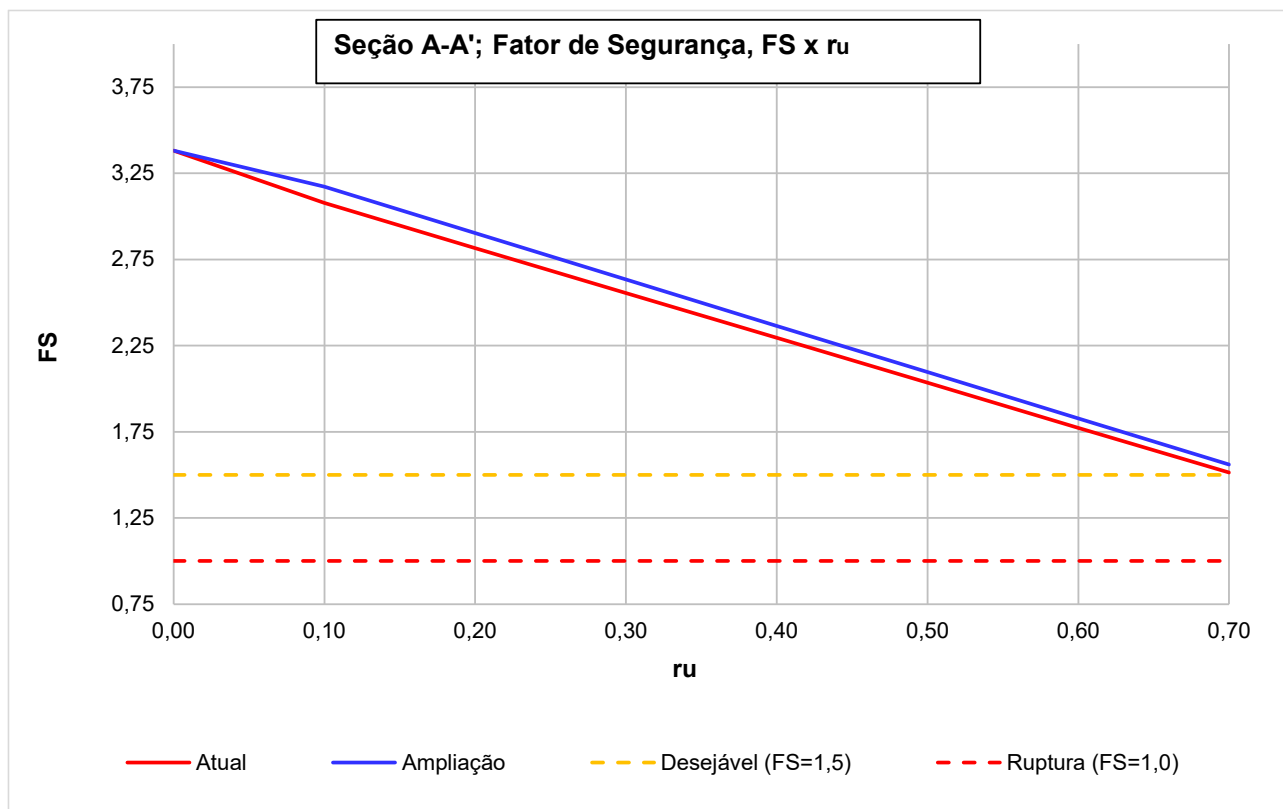


Gráfico 4-1. Fatores de Segurança obtidos para a seção A-A' em função dos coeficientes r_u no âmbito da situação atual e situação de ampliação.

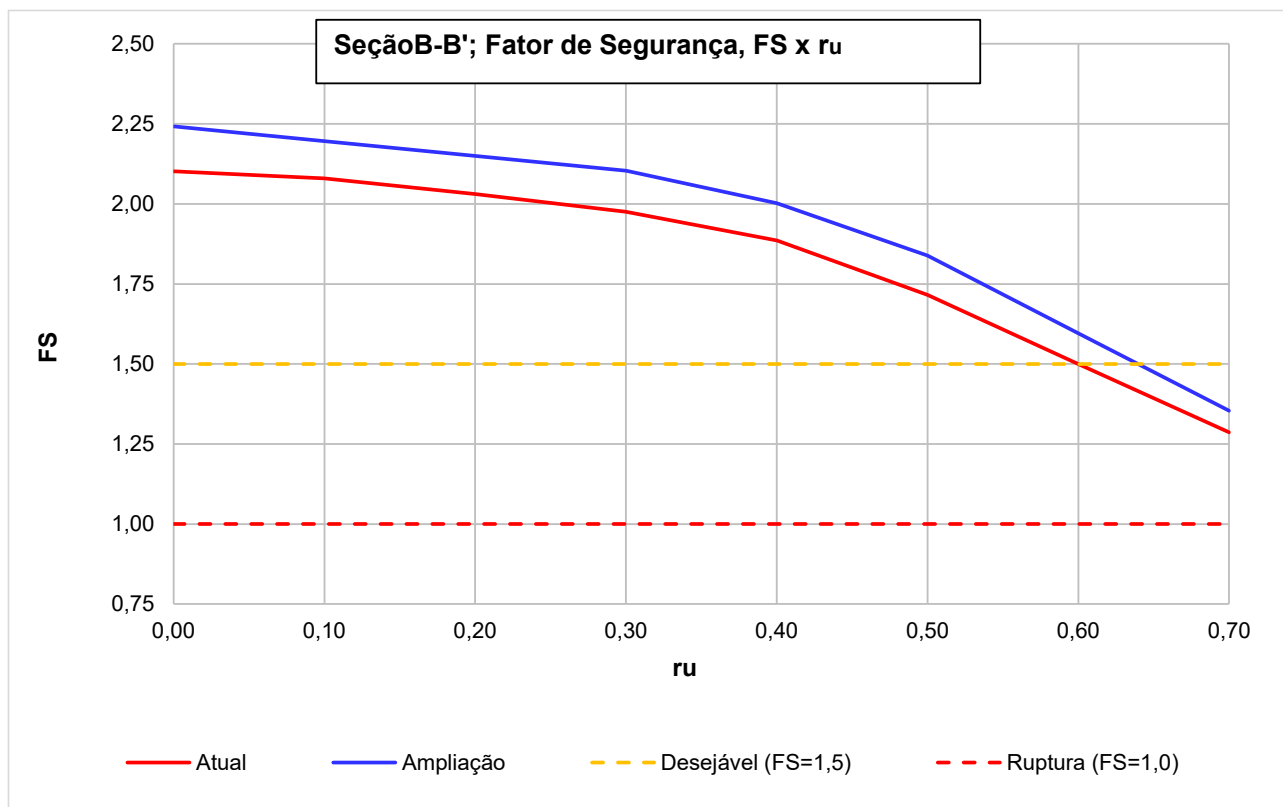


Gráfico 4-2 - Fatores de Segurança obtidos para a seção B-B' em função dos coeficientes r_u no âmbito da situação atual e situação de ampliação.

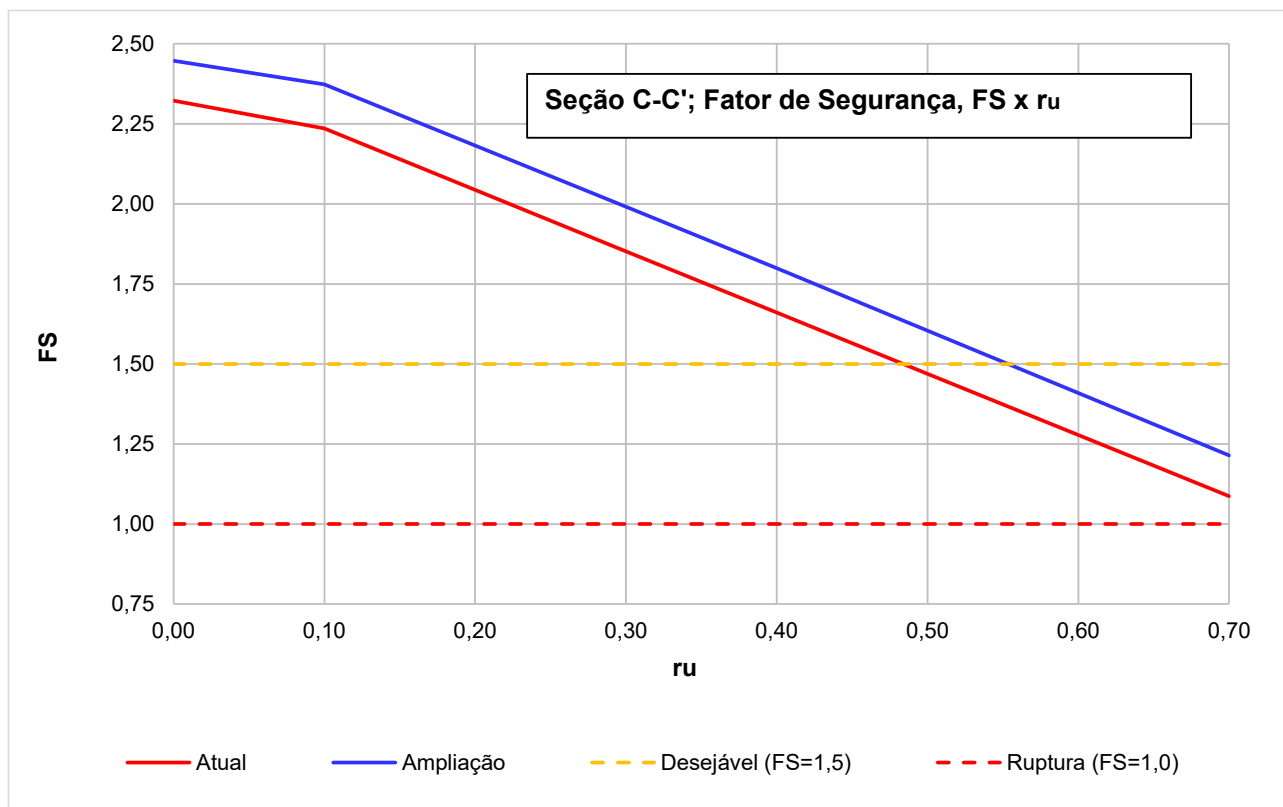


Gráfico 4-3 - Fatores de Segurança obtidos para a seção C-C' em função dos coeficientes r_u no âmbito da situação atual e situação de ampliação.

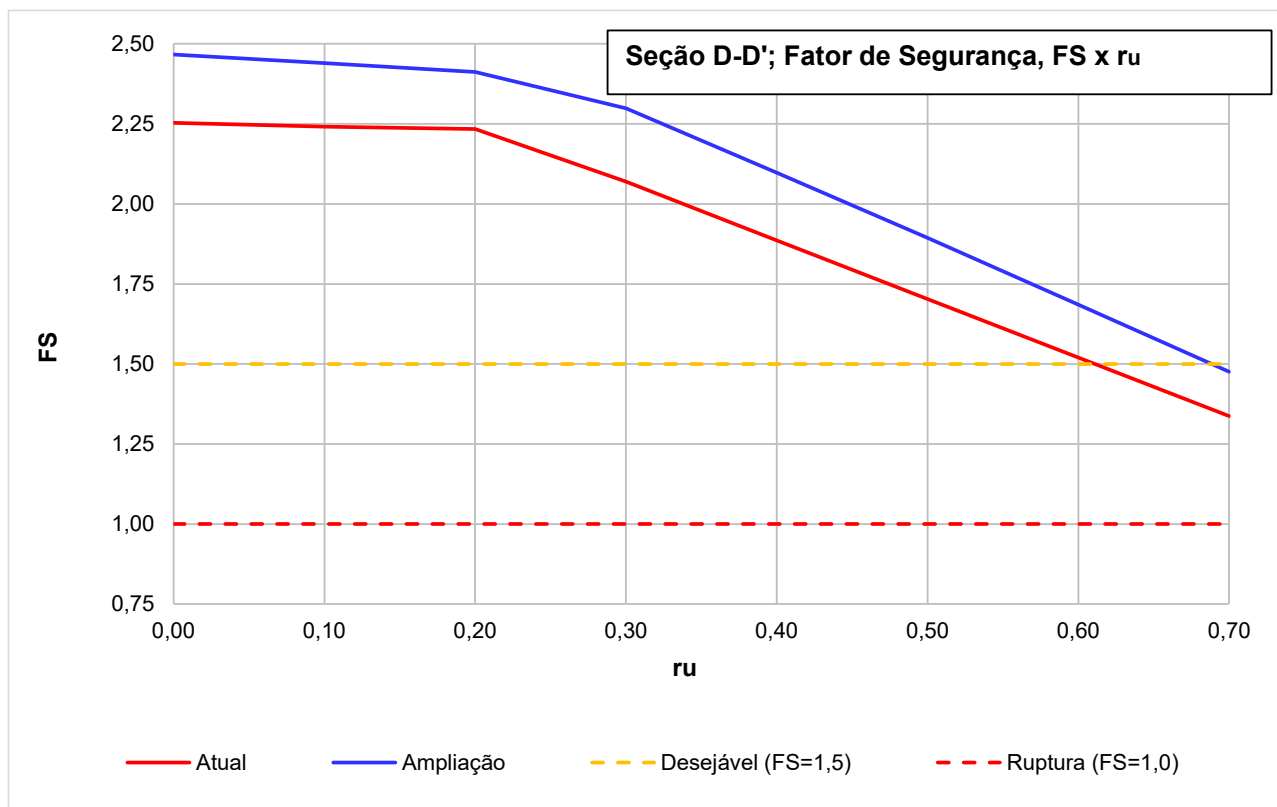


Gráfico 4-4 - Fatores de Segurança obtidos para a seção D-D' em função dos coeficientes r_u no âmbito da situação atual e situação de ampliação.

De acordo com os valores obtidos de r_u apresentados no Item 3, observa-se que apresentaram os maiores registros ao longo do ano de 2026, resultando em r_u igual a 0,54 (excetuando-se o piezômetro PZ-01 que apresenta leitura anômala, a ser verificada).

Nesse sentido, a seguir são apresentados os perfis das seções críticas de análises de estabilidade (situação atual e ampliação) juntamente com suas superfícies hipotéticas de rupturas circulares, adotando-se o coeficiente r_u de 0,54.

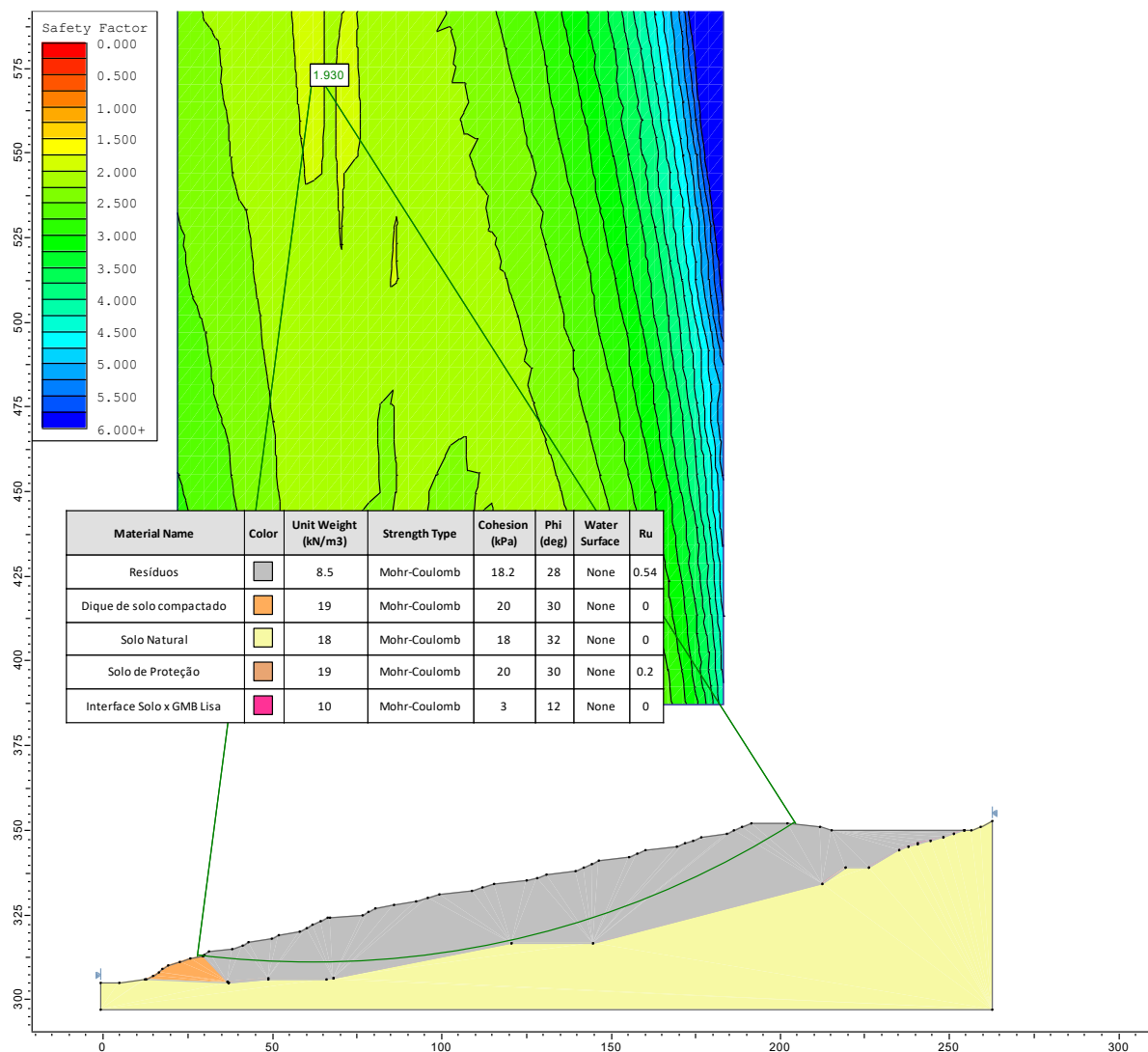
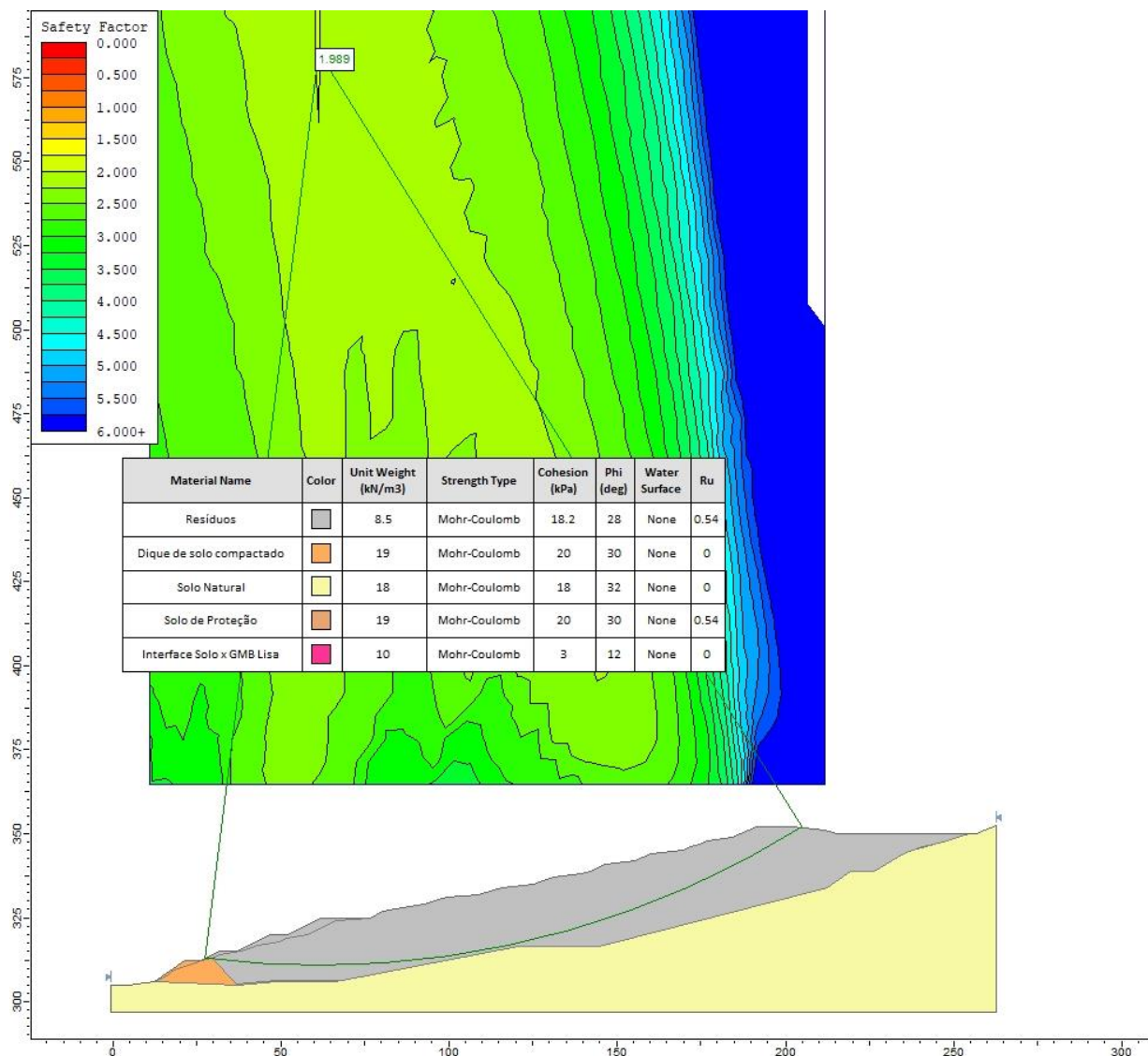


Figura 4-3. Seção crítica analisada A-A'. (FS $\cong$ 1,9) – Situação Atual – Circular.



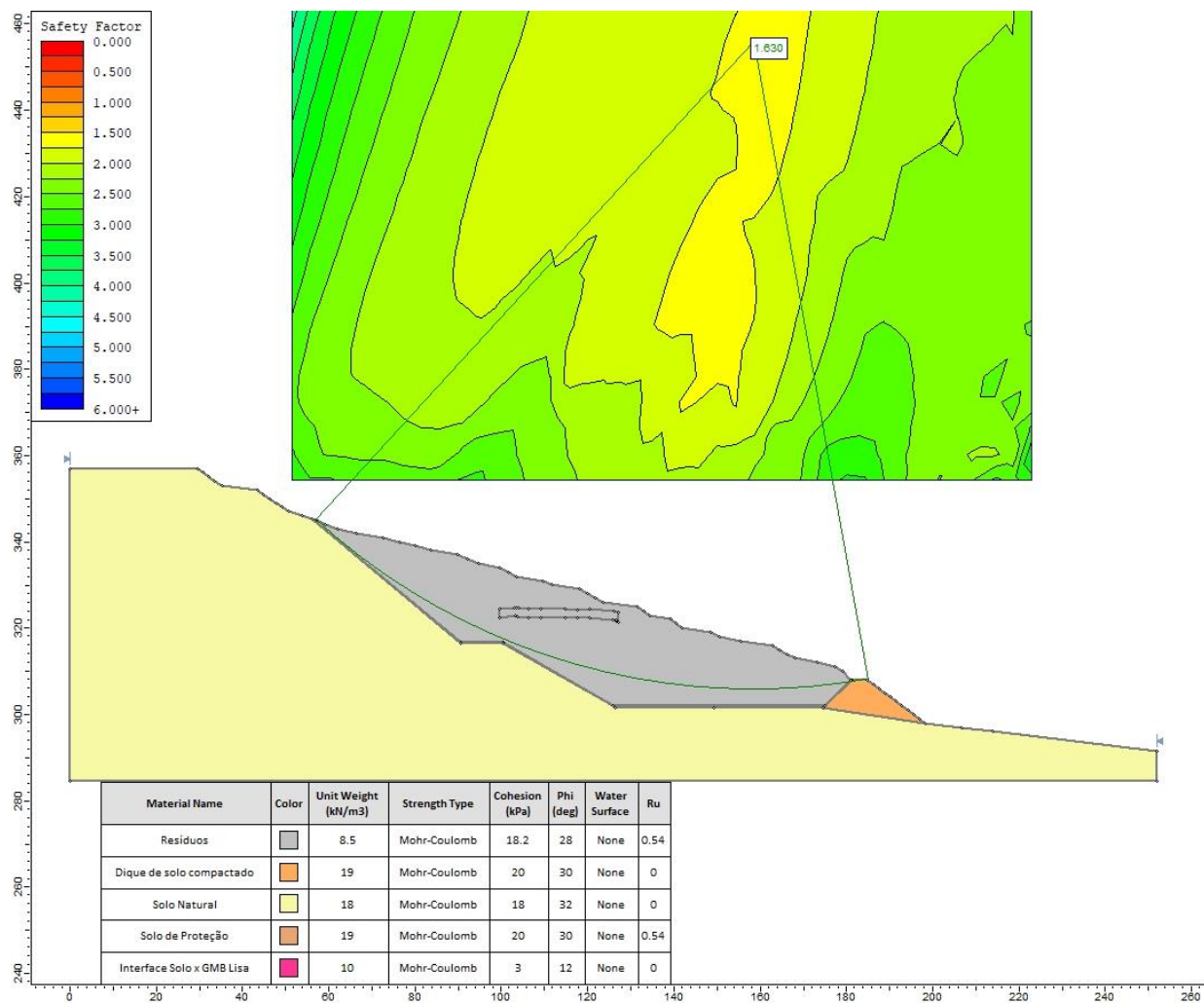


Figura 4-5. Seção crítica analisada B-B'. (FS $\cong$ 1,6) – Situação Atual – Circular.

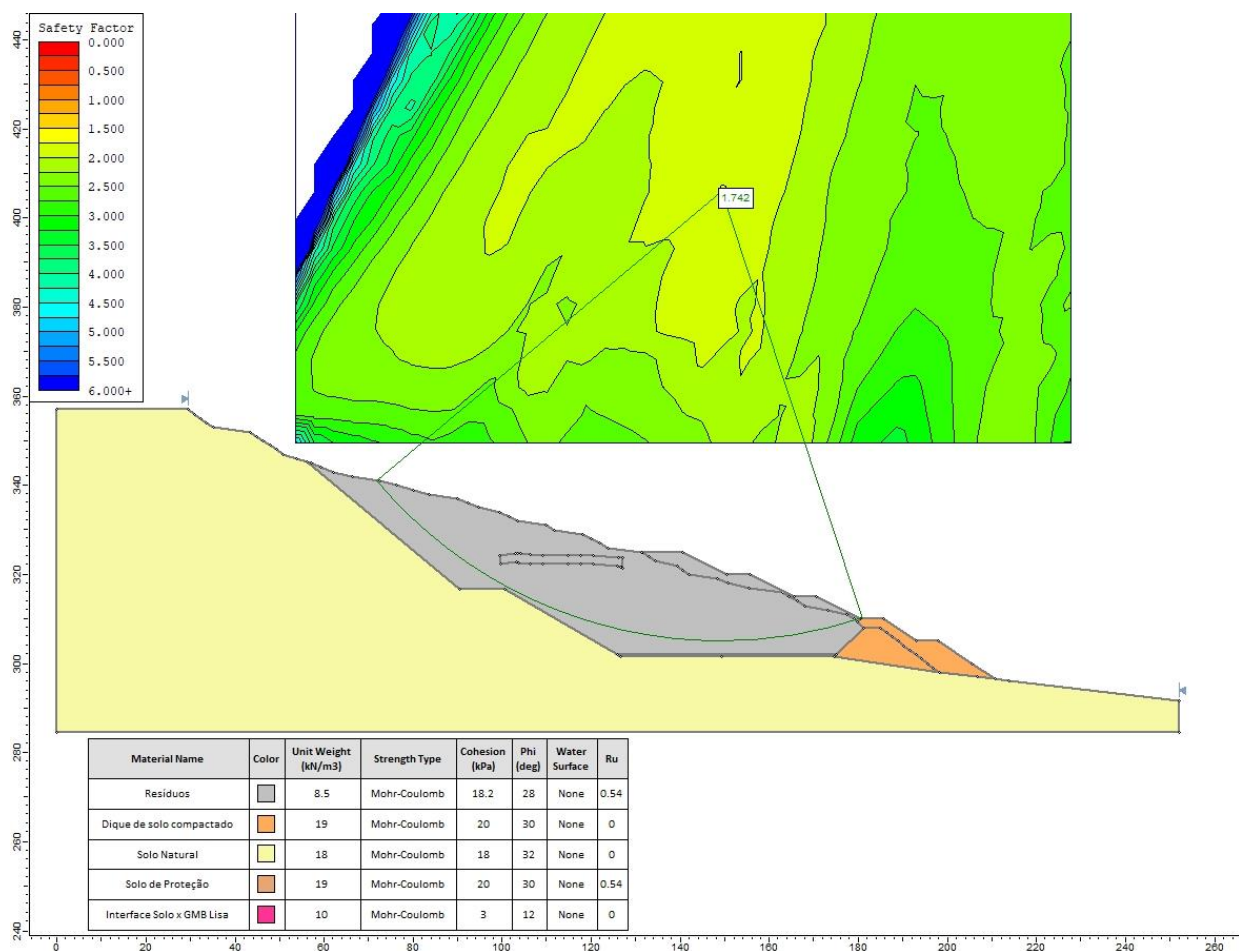


Figura 4-6. Seção crítica analisada B-B'. (FS $\cong$ 1,7) – Avanço frontal – Circular.

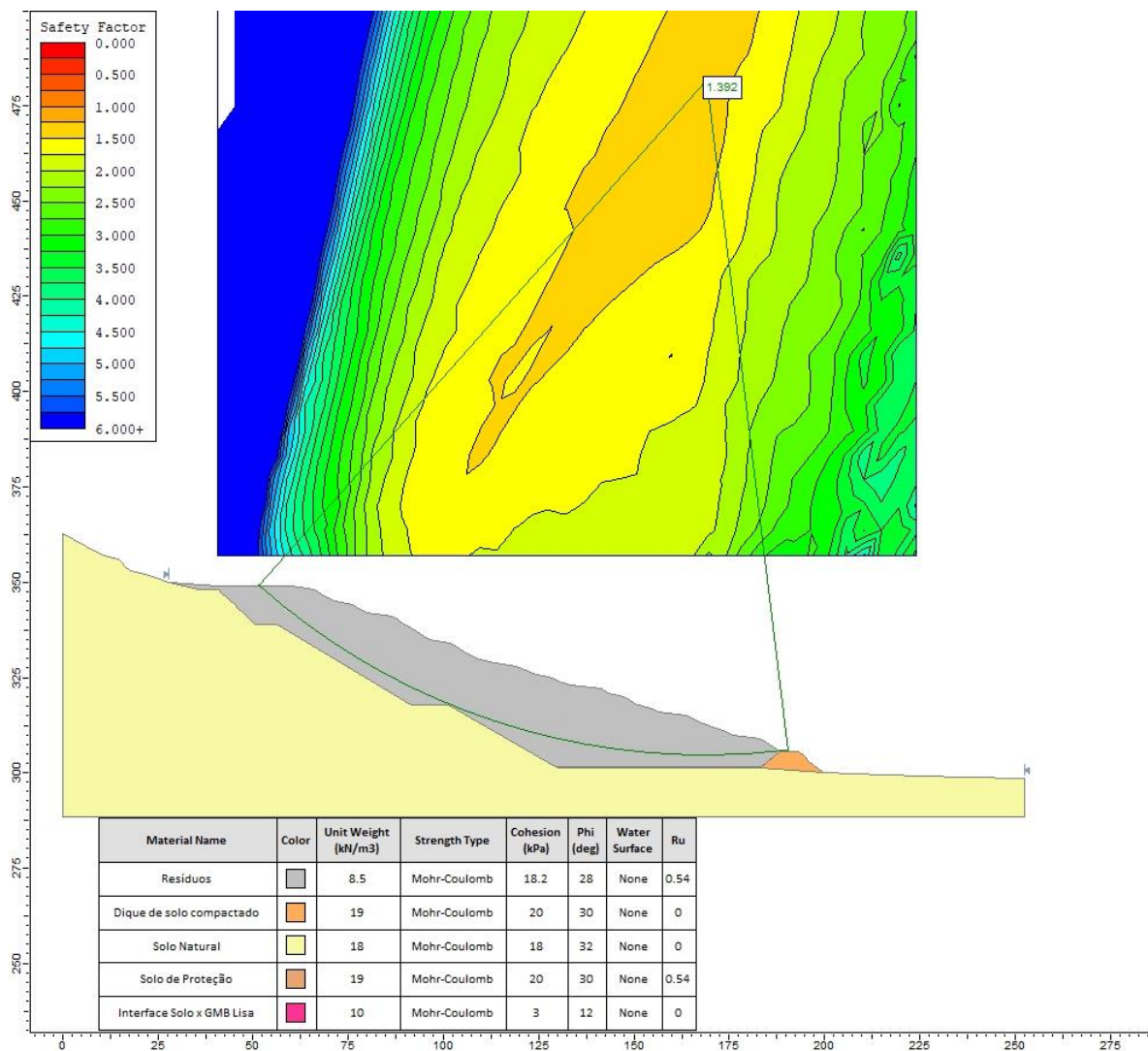


Figura 4-7. Seção crítica analisada C-C'. (FS $\cong$ 1,4) – Situação Atual – Circular.

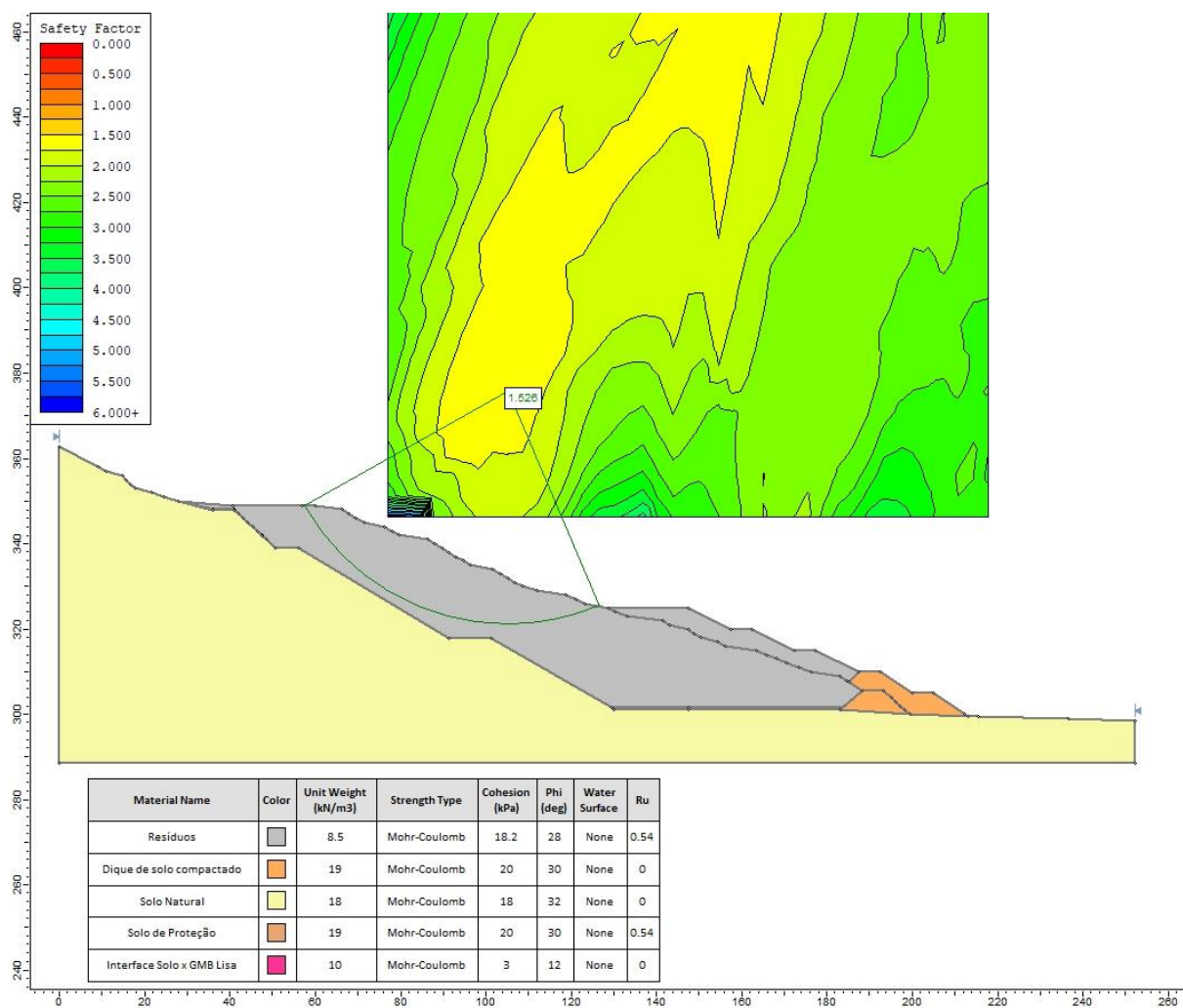


Figura 4-8. Seção crítica analisada C-C'. (FS $\cong$ 1,5) – Avanço frontal – Circular.

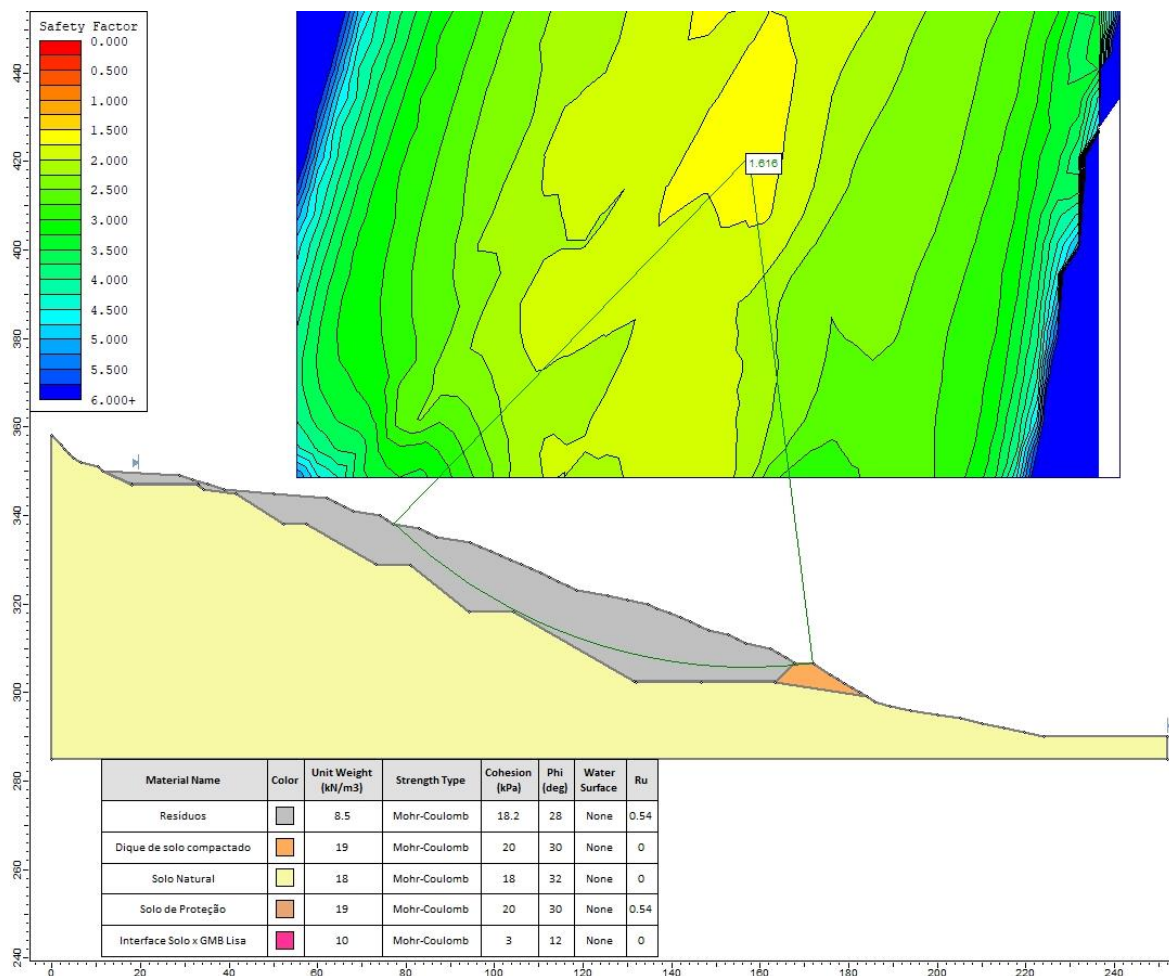


Figura 4-9. Seção crítica analisada D-D'. (FS $\cong$ 1,6) – Situação Atual – Circular.

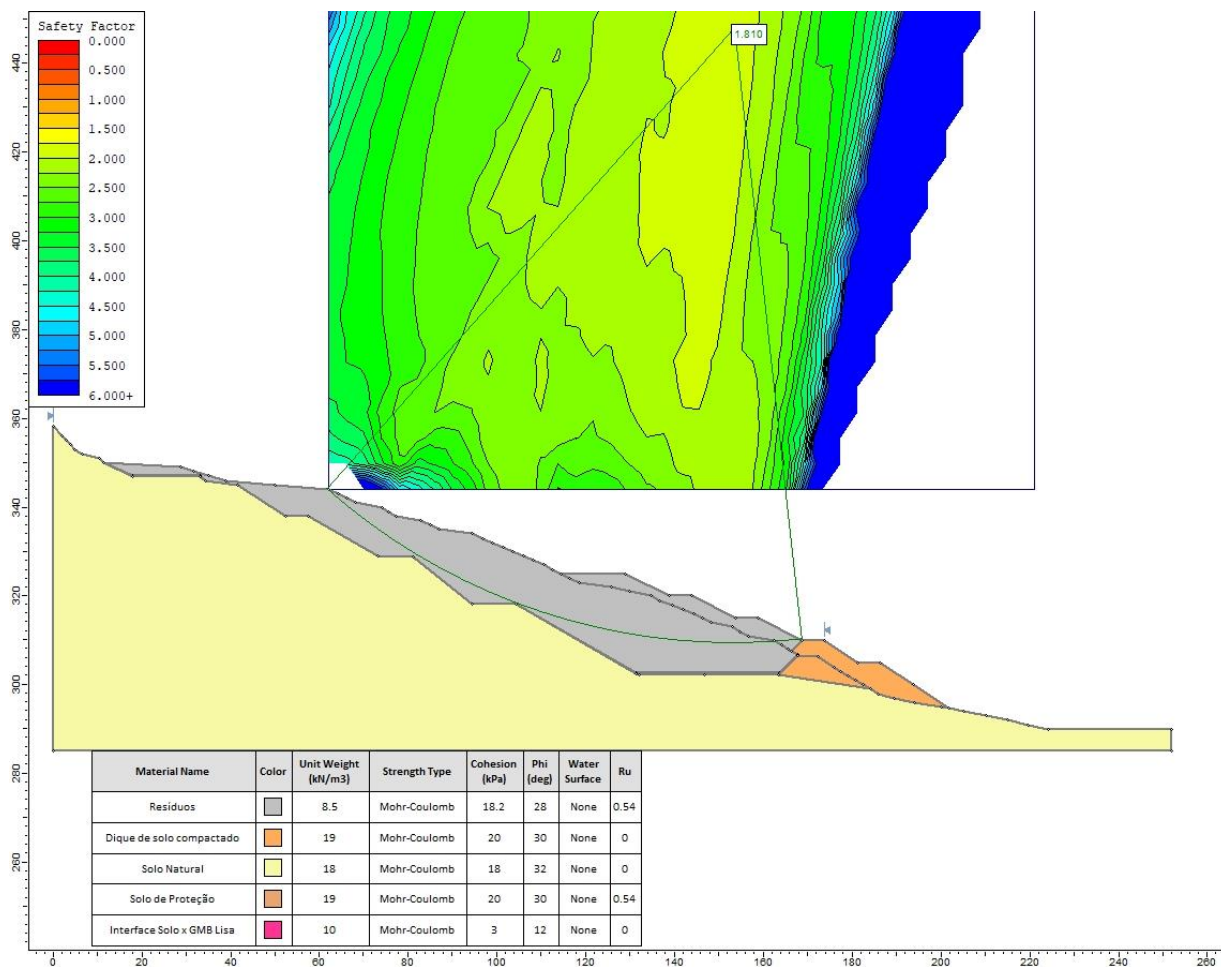


Figura 4-10. Seção crítica analisada D-D'. (FS $\cong$ 1,8) – Avanço frontal – Circular.

5 ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA E VIDA ÚTIL DO CENÁRIO DE AMPLIAÇÃO (PRÉ-PROJETO) – RECONFORMAÇÃO GEOMÉTRICA

O Pré-Projeto de Reconformação Geométrica do maciço de resíduos do Aterro Sanitário de Muriaé/MG contemplou a desmobilização dos 02 reservatórios (menor e o maior) de armazenamento de lixiviados existentes, para implantação de um dique de disparo de solo compactado, seguida de reconformação geométrica com a disposição de resíduos até atingir a cota 325,0 m.

Conforme mencionado anteriormente, a reconformação foi pré-projetada levando em consideração a análise da estabilidade realizada para o maciço de resíduos atual, ou seja, a favor da segurança geotécnica do presente aterro.

Nessa reconformação geométrica, apresentada na Folha 02/02 do Anexo I desse documento, obteve-se o volume espacial de 69.220 m³. Considerando os volumes de solo a serem utilizados na cobertura provisória e definitiva, o recebimento diário de resíduos de 65 t/dia, 365 dias operacionais no ano e o peso específico (γ) de 1,00 t/m³, estima-se uma vida útil de 2,3 anos ou 2 anos e 3 meses.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados dos marcos superficiais, pode se dizer que a magnitude das velocidades de recalque e deslocamento horizontal são relativamente baixas no período analisado, e que os comportamentos direcionais e deformacionais não indicam consequências significativas para a estabilidade geotécnica do aterro. Contudo, exige-se periódicas inspeções, especialmente nos setores Noroeste onde foi registrado os maiores números de ocorrências de Comportamento Deformacional Não Desejável.

Conforme apresentado nas Tabela 4-3 observa-se que os valores de Fator de Segurança, FS obtidos para o cenário de ampliação do Aterro Sanitário de Muriaé denotou valores acima do que os valores obtidos de FS para o cenário atual, em todas as seções críticas analisadas geotecnicamente.

No cenário de ampliação adotando-se a média dos valores máximos de coeficiente de poropressão interna (r_u) registrados no ano de 2026 (r_u igual 0,54), resultam em Fator de Segurança acima ou igual a 1,5 que é o valor recomendado pela Norma Técnica ABNT NBR 11.682/2009 – Estabilidade de Encostas, bem como pelas diretrizes estabelecidas pela CETESB para condições de longo prazo ($FS \geq 1,5$).

Desse modo, pode-se considerar que no âmbito do Cenário de Ampliação, o aterro sanitário denotará condições normais de estabilidade geotécnica dos taludes de resíduos com prognóstico satisfatório desde que implantado e operado seguindo os critérios a serem detalhados em projeto executivo a ser elaborado.

Conforme descrito anteriormente, de maneira geral, a configuração do arranjo geral da ampliação do aterro sanitário denotou melhoria no comportamento geotécnico em relação à condição atualmente implantada.

A modelagem apresentada para a estabilidade geotécnica do maciço de resíduos, em suas seções mais críticas, demonstraram que as superfícies críticas de ruptura circulares demonstraram ser mais críticas do que as superfícies de rupturas não circulares.

No Cenário Atual, recomenda-se a execução de drenos de lixiviados (tipo trincheira) transversais e longitudinais e drenos de biogás flutuantes, nas regiões que denotaram coeficientes de poropressão internas r_u acima de 0,30, conforme diagnosticado nos piezômetros existentes, conforme apresentado na Figura 3-2.

Ressalta-se, que o bombeamento de lixiviados dos Poços Drenos de Lixiviados, PDLs, contribui para a redução dos coeficientes r_u . Nesse sentido, recomenda-se que este bombeamento seja intensificado, associado ainda com a implantação e/ou manutenção dos sistemas de cobertura final e de drenagem pluvial do aterro.

Para se ter total garantia dos riscos previstos e previsibilidade do comportamento geotécnico do maciço de resíduos, ou seja, para a demonstração da garantia da estabilidade do maciço, recomenda-se a instalação de novos instrumentos geotécnicos (piezômetros e marcos superficiais), testes de funcionamentos trimestrais nos piezômetros e a manutenção adequada do aterro sanitário, bem como a implementação do monitoramento geotécnico mensal, por empresa capacitada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA - ABLP – Curso de Treinamento sobre Aterros Sanitários – Licenças/Projeto/Operação – de 14 a 16 de Outubro de 2008 – ABLP, São Paulo, 2008.

BAGCHI, A. *Design Construction and Monitoring of Landfills*. Second edition, John Wiley & Sons, Inc., 1994.

BENVENUTO C. Monitoramento Geotécnico e a Estabilidade dos Aterros Sanitários. Revista Limpeza Pública, Edição 77. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2011.

BENVENUTO C. et al. A Metodologia Geotécnica Aplicada à Disposição dos Resíduos Sólidos. GEOAMBIENTAL'94. Seminário sobre Geotecnia de Aterros para Disposição de Resíduos - Ênfase em Aterros Sanitários, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.

BENVENUTO C.; BENVENUTO M. Ensaio mecânicos em resíduos sólidos urbanos: as teorias e as finalidades práticas. Revista Limpeza Pública, São Paulo, Edição 81. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2012.

BENVENUTO C.; CIPRIANO, M. A. Modelo Reológico de Comportamento de Resíduos e Aterros Sanitários, segundo Critérios de Projeto e Operação atuais no Brasil. Revista Limpeza Pública, Edição 74. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 2010.

BENVENUTO, C.; CUNHA, M. A. A Estabilidade Geotécnica de Aterros Sanitários. Revista Construção, Editora PINI, ano XLV n.º 2314, jun. 1992.

BENVENUTO, C.; CUNHA, M. A. Escorregamento em Massa de Lixo no Aterro Sanitário Bandeirantes em São Paulo, SP. II Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos - REGEO'91, Rio de Janeiro, nov. De 1991.

BISHOP, A. W; MORGENSTERN, N. (1960) *Stability coefficients for Earth Slopes*. Geothénique – N. 4 – Vol. X.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB - Roteiro para Elaboração de Relatórios de Avaliação da Estabilidade Geotécnica de Aterros Sanitários, em Parecer Técnico nº 087/10/TACR de 14/07/2010. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, São Paulo, 2010.

_____. Resíduos Sólidos Industriais, São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, São Paulo, 1993.

_____. Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final, São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, São Paulo, 1994.

CRUZ, P. T. E FERREIRA, R. C. (1993) Aterros Compactados, em Solos do Interior de São Paulo, p. 279, ABMS e USP/SC, 1993.

DEL GRECCO, O.; OGGERI, C. *Geotechnical Parameters of Sanitary Wastes*. SARDINIA 93 IV International Landfill Symposium, Sardinia, Italia, 1995.

_____. *Shear Resistance Tests on Municipal Solid Wastes*. First International Congress on Environmental Geotechnics, Edmonton, Canada, 1994.

GUIDICINI, C. E NIEBLE, C.M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976.

KOELSCH, F. *Material Values for Some Mechanical Properties of Domestic Waste*. SARDINIA 95 Fifth International Landfill Symposium, Sardinia, Itália, 1995.

KOELSCH, F.; BAUER, J. (2009) Static Stability of Landfills, Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Magherita di Pula, Cagliari, Italy; 2009.

LAMBE, T. W. & WHITMAN, R. V. Soil Mechanics. Massachusetts Institute of Technology. New York, 1969.

PINTO, C. S. et al (1993) Propriedades dos Solos Residuais, em Solos do Interior de São Paulo, p. 97, ABMS e USP/SC, 1993.

SHARMA, H. D.; LEWIS, S. P. *Waste Containment System, Waste Stabilization, and Landfills - Design and Evaluation*. John Wiley Sons, Inc. pp 534 - 1994.

SPENCER, E. A. *Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces*. Géotechnique, 17 (1) 11-26, Mar. 1967.

WRIGHT, S. G. (1970) "SSTAB-L – A General Computer Program for Slope Stability Analysis", Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, 1970.

ANEXOS

ANEXO I – Folhas.

01/02. Levantamento topográfico de 17/04/2026, Locação de Marcos Superficiais, Piezômetros e Seções Geotécnicas;

02/02. Arranjo geral – Simulação 01 - Alçamento até a cota 33,0 m e locação de seções geotécnicas.

ANEXO II – Anotação de Responsabilidade Técnica – ART

ANEXO I – Folhas.

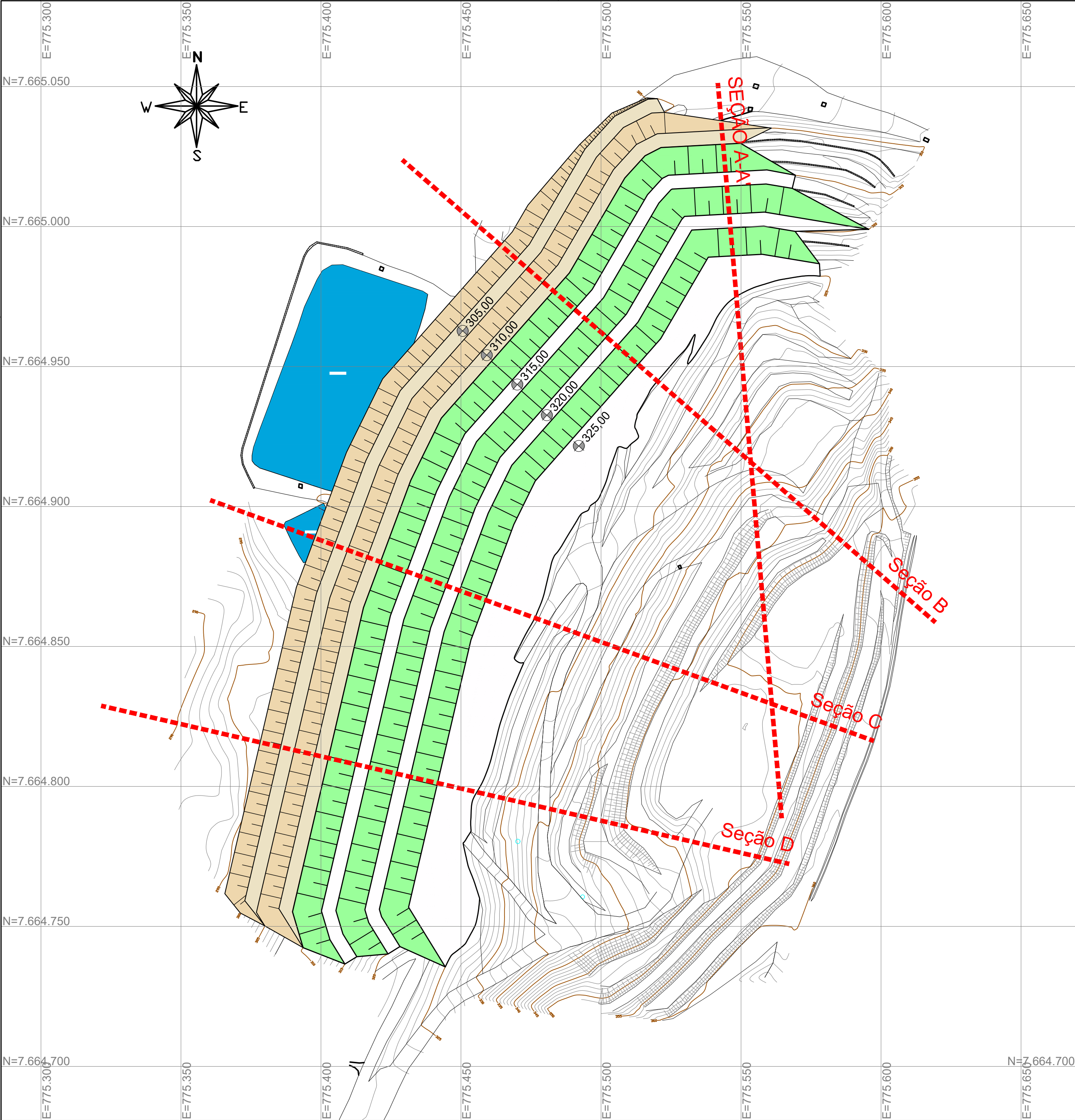
Folha 01/02: Levantamento topográfico – *As Built* de Abril/2026 - Locação de Marcos Superficiais e Piezômetros;

Folha 02/02: Layout de Pré-Projeto e Seções de Estabilidade



LEGENDA	
	Curvas de Nível
	Canaleta
	Piezômetro
	Marco Superficial
Nota: Levantamento Topográfico de abril de 2026fornecido pelo cliente.	

OBRA: Reconformação Geométrica do Aterro Sanitário de Muriaé - Situação Atual e de Anteprojeto				GEOTECH GEOTECNIA AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS Tel. (011) 3742-0804 www.geotech.srv.br  DEMSUR	
LOCAL: Estrada do Retiro - Rodovia BR-356 Muriaé - MG					
TÍTULO: Levantamento Topográfico - As Built Abril de 2026					
ESC.: 1:1.000		RESPONSÁVEL TÉCNICO: Eng. Marcelo Benvenuto - CREA: 506.930.567-5		FOLHA: 01/02	REV.: 0
DESENHO: Eng. Marco A. Cipriano		PROJETO: Eng. Marcelo Benvenuto		VISTO:	VERIF.: DATA: Maio de 2026



LEGENDA	
	Curvas de Nível
	Canaleta
	Dique de Solo Compactado
	Talude de Resíduos



OBRA: Reconformação Geométrica do Aterro Sanitário de Muriaé - Situação Atual e de Anteprojeto		 GEOTECNIA AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS Tel. (011) 3742-0804 www.geotech.srv.br		
LOCAL: Estrada do Retiro - Rodovia BR-356 Muriaé - MG				
TÍTULO: Layout de Pré-Projeto e Seções de Estabilidade				
ESC.: 1:1.000	RESPONSÁVEL TÉCNICO: Eng. Marcelo Benvenuto - CREA: 506.930.567-5		FOLHA: 02/02	REV.: 0
DESENHO: Eng. Marco A. Cipriano	PROJETO: Eng. Marcelo Benvenuto	VISTO:	VERIF.:	DATA: Maio de 2026



ANEXO II – Anotação de Responsabilidade Técnica – ART



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20264892066

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR
ALTERAÇÃO CONTRATUAL à
MG20253666921

1. Responsável Técnico

MARCELO BENVENUTO

Título profissional: **ENGENHEIRO CIVIL**

RNP: 2613129417

Registro: 293824MG

Empresa contratada: **GEOTECH - GEOTECNIA AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA**

Registro Nacional: 0000953342-MG

2. Dados do Contrato

Contratante: **DEMSUR - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO**
AVENIDA MAESTRO SANSÃO

CPF/CNPJ: 02.318.396/0001-45

Nº: 236

Complemento:

Bairro: **CENTRO**

Cidade: **MURIAÉ**

UF: **MG**

CEP: 36880002

Contrato: 017/2023

Celebrado em: 05/06/2023

Valor:

Tipo de contratante: **Pessoa Jurídica de Direito Público**

Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

OUTROS RURAL

Nº: **SN**

Complemento:

Bairro: **ÁREA RURAL DE MURIAÉ**

Cidade: **MURIAÉ**

UF: **MG**

CEP: 36891899

Data de Início: 26/07/2023

Previsão de término: 10/04/2027

Coordenadas Geográficas: 0, 0

Finalidade: **AMBIENTAL**

Código: **Não Especificado**

Proprietário: **DEMSUR - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO**

CPF/CNPJ: 02.318.396/0001-45

4. Atividade Técnica

	Quantidade	Unidade
14 - Elaboração		
80 - Projeto > SANEAMENTO AMBIENTAL > SISTEMA DE ESGOTO/RESÍDUOS > DE SISTEMA DE ESGOTO/RESÍDUOS SÓLIDOS > #6.2.4.8 - ATERRO SANITÁRIO	61.921,00	m²
70 - Monitoramento > SANEAMENTO AMBIENTAL > SISTEMA DE ESGOTO/RESÍDUOS > DE SISTEMA DE ESGOTO/RESÍDUOS SÓLIDOS > #6.2.4.8 - ATERRO SANITÁRIO	61.921,00	m²
1 - Assessoria		
6 - Assessoria > SANEAMENTO AMBIENTAL > SISTEMA DE ESGOTO/RESÍDUOS > DE SISTEMA DE ESGOTO/RESÍDUOS SÓLIDOS > #6.2.4.8 - ATERRO SANITÁRIO	61.921,00	m²

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

7º e 8º aditivos

6. Declarações

- Declaro estar ciente de que devo cumprir as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no decreto n. 5296/2004.
- Cláusula Compromissória: Qualquer conflito ou litígio originado do presente contrato, bem como sua interpretação ou execução, será resolvido por arbitragem, de acordo com a Lei no. 9.307, de 23 de setembro de 1996, por meio da Câmara de Mediação e Arbitragem - CMA vinculada ao Crea-MG, nos termos do respectivo regulamento de arbitragem que, expressamente, as partes declaram concordar
- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que meus dados pessoais e eventuais documentos por mim apresentados nesta solicitação serão utilizados conforme a Política de Privacidade do CREA-MG, que encontra-se à disposição no seguinte endereço eletrônico: <https://www.crea-mg.org.br/transparencia/lged/politica-privacidade-dados>. Em caso de cadastro de ART para PESSOA FÍSICA, declaro que informei ao CONTRATANTE e ao PROPRIETÁRIO que para a emissão desta ART é necessário cadastrar nos sistemas do CREA-MG, em campos específicos, os seguintes dados pessoais: nome, CPF e endereço. Por fim, declaro que estou ciente que é proibida a inserção de qualquer dado pessoal no campo "observação" da ART, seja meu ou de terceiros.
- Declaro, nos termos da Lei Federal nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estou ciente de que não posso compartilhar a ART com terceiros sem o devido consentimento do contratante e/ou do(a) proprietário(a), exceto para cumprimento de dever legal.

7. Entidade de Classe

- SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.sitac.com.br/publico/>, com a chave: ADCY1
Impresso em: 15/05/2026 às 15:25:10 por: , ip: 201.26.29.151

www.crea-mg.org.br
Tel: 0800 031 2732

atendimento@crea-mg.org.br
Fax:





Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20264892066

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

SUBSTITUIÇÃO POR
ALTERAÇÃO CONTRATUAL à
MG20253666921

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

São Paulo, 04 de maio de 2026
Local data

MARCELO BENVENUTO - CPF: 277.822.618-48

DEMSUR - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO -
CNPJ: 02.318.396/0001-45

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Esta ART é isenta de taxa

Registrada em: **04/05/2026**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.sitac.com.br/publico/>, com a chave: ADCY1
Impresso em: 15/05/2026 às 15:25:10 por: , ip: 201.26.29.151

www.crea-mg.org.br
Tel: 0800 031 2732

atendimento@crea-mg.org.br
Fax:



