



# Estudo de Estabilidade

## Aterro Sanitário

### Lagoa da Prata



**Empreendimento:** Aterro Sanitário Municipal  
**Empreendedor:** Pref. Municipal de Lagoa da Prata/MG  
**Fase do licenciamento:** Licença de Operação Corretiva

Maio de 2021

## PREÂMBULO

*“São seis horas da manhã. Assobiando diante da entrada de seu edifício, o Sr. Silva levanta a pesada tampa do reservatório de lixo do condomínio. Ali deposita o saco plástico com os resíduos produzidos por sua família, cheio a ponto de romper o barbante com que foi fechado. Como de costume, o reservatório de lixo já está completamente cheio. E não é de espantar, com aquela carcaça de bicicleta, aquelas velhas latas de tinta e todos aqueles frascos de plástico, que ocupam tanto espaço...”*

*O Sr. Silva se recorda de que, quatro ou cinco anos atrás, não era necessário trazer o lixo doméstico para o reservatório do condomínio todos os dias, nem o saco plástico vinha tão cheio como agora... E os números lidos no jornal do dia anterior lhe retornam à mente: em 1960, na Suíça, cada cidadão gerava 150 quilos de lixo por ano; em 1988, a quantidade havia quase triplicado — mais de 400 kg por ano, sem contar os automóveis velhos enviados para o desmanche, nem os televisores e as geladeiras imprestáveis ( ... ).”*

O texto acima corresponde à abertura do primeiro capítulo de um pequeno livro, publicado pela UNESCO em meados de 2015. Em linguagem simples, direta e acessível, embora tecnicamente rigorosa, essa publicação aborda o que, hoje em dia, se constitui em um dos principais problemas da espécie humana, capaz até mesmo de condicionar nossa própria sobrevivência sobre este maltratado planeta: **nosso lixo...**

## ÍNDICE GERAL

<b>1. CONSIDERAÇÃO INICIAL .....</b>	<b>6</b>
<b>2. INFORMAÇÕES CADASTRAIS .....</b>	<b>7</b>
2.1 Empreendedor .....	7
2.2 Empreendimento.....	7
2.3 Responsabilidade Técnica do Estudo.....	8
<b>3. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
3.1 Instrumentação NO aterro sanitário .....	10
3.2 Influência da compactação dos RSU .....	11
3.3 Peso específico dos RSU .....	13
3.4 Parâmetros de compressibilidade dos RSU .....	14
3.5 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos RSU.....	15
3.6 Parâmetros a serem adotados na análise de estabilidade .....	17
3.7 Principais conclusões da literatura sobre estabilidade de taludes de RSU.....	19
<b>4. modelo geométrico do aterro sanitário de lagoa da prata.....</b>	<b>20</b>
<b>5. Cenários considerados nos estudos de estabilidade geotécnica.....</b>	<b>21</b>
<b>6. parâmetros geotécnicos adotados .....</b>	<b>22</b>
<b>7. software e métodos de cálculo utilizados .....</b>	<b>23</b>
<b>8. RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
8.1 cenário 01 .....	25
8.2 cenário 02 .....	27
<b>9. CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Parâmetros de Resistência para RSU.....	17
<b>Figura 02</b> – Parâmetros de coesão e ângulo de atrito adotados para RSU .....	18
<b>Figura 03</b> – Tela de entrada do programa .....	23
<b>Figura 04</b> – Dados de entrada para o material .....	24
<b>Figura 05</b> – Ruptura circular e fator de segurança para o Cenário 01.....	25
<b>Figura 06</b> – Nível crítico de percolado no maciço de lixo .....	27
<b>Figura 07</b> – Ruptura circular e fator de segurança para o Cenário 02 - Bishop.....	28
<b>Figura 08</b> – Ruptura circular e fator de segurança para o Cenário 02 - Spencer .....	29

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 01</b> – Características geométricas do maciço de lixo.....	20
<b>Quadro 02</b> – Profundidades do nível crítico de percolado.....	28

## 1. CONSIDERAÇÃO INICIAL

O presente relatório técnico tem como objetivo apresentar o ESTUDO DE ESTABILIDADE GEOTÉCNICA, elaborado para o Aterro Sanitário do município de Lagoa da Prata, já implantado e em operação pela Prefeitura Municipal, cuja atividade principal desenvolvida é o “Aterro sanitário, inclusive Aterro Sanitário de Pequeno Porte – ASPP – código E-03-07-7 pela DN COPAM n.º 217/2017”, visando à solicitação e obtenção da Licença de Operação Corretiva – LOC junto à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD e à Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Alto São Francisco – SUPRAM-ASF, mediante o processo de licenciamento ambiental n.º 00334/1998/006/2019.

Inicialmente, o projeto aprovado do aterro sanitário previa a existência de 3 plataformas sobrepostas de resíduos aterrados. Entretanto, devido a questões administrativas, técnicas e burocráticas, foi necessário a implantação de uma quarta plataforma, em caráter emergencial. Neste trabalho, será apresentado o estudo de estabilidade geotécnica considerando o novo maciço de lixo, com as três plataformas inicialmente projetadas, acrescido desta quarta.

Portanto, neste relatório serão apresentadas as considerações e conclusões sobre o assunto a fim de se demonstrar a viabilidade técnica e ambiental da unidade de aterragem.

## 2. INFORMAÇÕES CADASTRAIS

### 2.1 EMPREENDEDOR

- Razão Social: Prefeitura Municipal de Lagoa da Prata.
- Endereço para correspondência: Rua Joaquim Gomes Pereira, 825, Centro, Lagoa da Prata/MG, CEP 35.590-000.
- CNPJ: 18.318.618 / 0001 – 60
- Telefone: (37) 3262 – 5300
- Site na internet: <http://lagoadaprata.mg.gov.br/>
- E-mail: [meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br](mailto:meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br)

### 2.2 EMPREENDIMENTO

- Razão Social: Prefeitura Municipal de Lagoa da Prata – Aterro Sanitário.
- Nome Fantasia: Aterro Sanitário Municipal
- Endereço para correspondência: Avenida Vereador Milton Lacerda, 1671, Distrito Industrial, Lagoa da Prata/MG, CEP 35.590-000.
- Telefone: (37) 99961 – 6625
- E-mail: [meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br](mailto:meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br)

### 2.3 RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO ESTUDO

- Razão Social: Gomides Consultoria em Meio Ambiente e Saneamento Ltda.
- Endereço para correspondência: Rua Capitólio – 760, bairro Santo Antônio, Divinópolis - MG, CEP 35.502-039.
- CNPJ: 11.425.319 / 0001 – 85
- CREA: 56.435
- Profissional: Eng. Clécio Eustáquio Gomides
- Engenheiro Civil / Sanitarista – Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- CREA - MG: 79.277 / D
- Telefone: (37) 3212-5577 / 98412- 8427
- E-mail: [cleciogomides@yahoo.com.br](mailto:cleciogomides@yahoo.com.br)

### 3. INTRODUÇÃO

Ainda hoje, o estágio da “mecânica dos resíduos” ainda não dispõe de modelos e teorias adequados para representar realisticamente o comportamento dos resíduos sólidos urbanos - RSU, obrigando os analistas ao recurso de usar as teorias clássicas da Mecânica dos Solos para representá-los. Desta forma, os resultados em termos de estabilidade de taludes costumam ser conservadores, quando tratados por meio destes conceitos.

Ainda não foi constatado um progresso significativo nestes estudos, já que a validação de novos modelos requer inúmeros trabalhos de campo, o que não tem acontecido. Os trabalhos de campo, tais como os ensaios SPT, os ensaios penetrométricos do tipo CPTU, as provas de carga sobre placa (PLT) e os ensaios de caracterização visando à avaliação do comportamento do maciço como um todo, vão sendo realizados aos poucos, mas ainda sem reunir um arcabouço significativo de resultados.

Assim, ainda se acredita que as melhores análises de estabilidade devem se basear em resultados de retroanálises para rupturas bem caracterizadas geometricamente, o que também não tem sido frequente.

A seguir, serão apresentados alguns dos conceitos atualmente aceitos para justificar os procedimentos adotados nos estudos de estabilidade geotécnica elaborados para o Aterro Sanitário de Lagoa da Prata.

### 3.1 INSTRUMENTAÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO

Embora importante, a instrumentação em aterros sanitários ainda é pouco utilizada no Brasil, restringindo-se, quase sempre, às observações topográficas de recalques superficiais. Na literatura, encontram-se referências a respeito de:

- Termopares, para medida de temperatura em diversas profundidades da massa de lixo;
- Piezômetros, para medida das poropressões internas dos maciços de lixo relativas ao nível do chorume e aos gases gerados;
- Inclinômetros, para medida de deslocamentos internos do maciço;
- Medidores de recalques por placas instaladas em profundidade, mais apropriadamente na interface do aterro com a fundação, para medida de recalques da fundação;
- Placas de superfície, para medição de deslocamentos nas direções (x, y, z) de vários pontos da superfície final do aterro.

No Aterro Sanitário de Lagoa da Prata, estão previstos “Marcos Topográficos do Aterro – MTA” e “Marcos Topográficos do Terreno – MTT”, a serem utilizados no controle das movimentações do maciço de lixo, conforme detalhado no “Programa de Monitoramento Geotécnico (apresentado no Anexo II). Para o acompanhamento do nível crítico de chorume, estão previstos piezômetros do tipo “CasaGrande”, também detalhados no citado programa.

### 3.2 INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO DOS RSU

Uma das causas mais comumente difundidas sobre rupturas de aterros sanitários é a acumulação de chorume/percolado dentro dos seus maciços de lixo. Sabe-se, no entanto, que a produção de chorume poderá ser diminuída se os resíduos forem bem compactados.

Não faz mais de 10 anos, aceitava-se como um padrão de boa qualidade a compactação mediante 3 a 5 passadas em rampa ascendente e com equipamento compactador de 20 a 25 toneladas de peso operacional, obtendo-se pesos específicos da ordem de  $10 \text{ kN/m}^3$ .

Entretanto, Catapreta et al (2003) salientam que "vários fatores podem afetar a compactação dos RSU em um aterro sanitário, sendo os principais relacionados adiante:

- Composição dos resíduos;
- Espessura da camada de resíduo a ser compactada;
- Tipo, peso e velocidade dos equipamentos empregados na compactação;
- Umidade dos resíduos;
- Inclinação do plano de compactação;
- Número de passadas executadas pelo equipamento compactador."

Marques (2001) avaliou que, dentre todas as variáveis, a que tem maior influência sobre a compactação é o teor de umidade, sugerindo, inclusive, a necessidade de se pesquisar a umidade ótima de compactação para avançar nestes estudos. Porém, o mesmo autor adverte que o formato da curva de compactação de RSU não tem qualquer semelhança com a sua equivalente em solos, provavelmente, devido ao não desenvolvimento dos fenômenos de capilaridade e tensões neutras negativas.

Nos estudos publicados até recentemente não se conhecia efetivamente a importância de um outro fator, o "valor de rampa", nos efeitos da densidade. Com efeito, considerando-se os diversos valores de rampa, desde a inclinação nula (rampa plana) até o máximo de 1:3 (V: H), os esforços tratores de aceleração e frenagem em subidas e descidas de rampa influenciarão de modos distintos os valores das densidades resultantes. Em geral, os aterros projetados atualmente têm adotado rampas de 1:2,5 (V:H), contrariamente aos antigos, mais conservadores (como o de Belo Horizonte), que utilizavam rampas de 1:3 (V:H). Aliás, neste sentido a operação da CTRS de Belo Horizonte chegava a ser extremamente conservadora, pois a média de rampa chegava a 1:4,15 (V:H) na compactação dos resíduos.

Desta forma, de acordo com a metodologia de compactação apresentada para o Aterro Sanitário de Lagoa da Prata, conforme descrito no EIA/PCA, seria possível se alcançar valores para o peso específico do lixo compactado superiores a  $10 \text{ kN/m}^3$ . Entretanto, sendo mais conservadores, optou-se por utilizar este valor no estudo de estabilidade.

### 3.3 PESO ESPECÍFICO DOS RSU

Os valores de peso específico dos RSU encontrados na literatura variam enormemente, podendo variar de valores mínimos de  $3 \text{ kN/m}^3$  para resíduos pouco ou nada compactados, até  $16 \text{ kN/m}^3$ , dependendo também dos materiais existentes na fração sólida do lixo considerado.

Seguindo a tendência atual de se encontrar resíduos bem compactados, concentrou-se nesta direção através de pesquisa das principais informações a este respeito, sendo encontrados valores médios que vão de 7 a  $14 \text{ kN/m}^3$ , com valor mais frequente de  $10 \text{ kN/m}^3$ .

Em geral, o peso específico cresce com a profundidade, chegando a valores máximos de  $12,5 \text{ kN/m}^3$  em profundidades da ordem de 45 m, a partir da qual a profundidade parece não exercer mais influência sobre o parâmetro (CARVALHO, 1999).

### 3.4 PARÂMETROS DE COMPRESSIBILIDADE DOS RSU

A redução de volume e a movimentação de resíduos sólidos urbanos aterrados ocorrem praticamente durante toda a vida útil do aterro, acrescida ainda de um prazo que pode ser estimado da ordem de 10 anos, quando ainda podem ocorrer variações significativas.

Os principais mecanismos considerados (ações mecânicas de peso próprio e sobrecargas; reorientação das partículas devido à percolação de líquidos; transformações físico-químicas de resíduos orgânicos e decomposição biológica) já estão sobejamente discutidos conceitualmente. Porém, quanto aos parâmetros para cálculo de recalques, os avanços – que vêm desde 1973 até os dias de hoje – não indicam muita confiança nas propostas.

Tende-se, atualmente, a ignorar as fórmulas de previsão de recalques, desenvolvidas a partir de analogias com a Teoria de Adensamento de Terzagui, passando a se trabalhar com previsões baseadas em comportamento. Desta forma, chega-se a admitir que recalques do maciço de até 35% de sua altura não comprometem sua estabilidade.

Porém, quanto à movimentação lateral, pouco se sabe ainda sobre sua influência no aparecimento de trincas, pelo menos quantitativamente.

### 3.5 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS RSU

A resistência ao cisalhamento é a propriedade geotécnica de maior interesse na análise de estabilidade. Até o momento, quando ainda se aguarda o desenvolvimento de modelos teóricos para uma nova ciência dos materiais (específica para os RSU), ainda são adotados os modelos de resistência ao cisalhamento classicamente adotados na Mecânica dos Solos, embora a amostragem dos resíduos ainda seja uma questão problemática.

Pode-se diferenciar claramente o comportamento dos RSU em relação ao solo durante o cisalhamento em laboratório. O lixo, por exemplo, comporta-se como um material “strain hardening”, isto é, à medida que se deforma, adquire resistência. Pode, nestas condições, sustentar grandes deformações cisalhantes sem romper ou apresentar as quedas de tensões típicas da fase pós-pico do solo (e outros materiais, evidentemente). Desta forma, quando adota-se os modelos tradicionais de Mecânica dos Solos, para a análise de maciços de RSU, acaba-se sendo muito conservador.

Atualmente, já se dispõe de suficientes informações a respeito da resistência ao cisalhamento do lixo, embora os resultados, para desânimo dos analistas de estabilidade, sejam extremamente variáveis, em amplas faixas de variações.

Tais resultados são baseados em estudos de retroanálises (para aterros rompidos), em estudos de laboratório e em ensaios em protótipos, *in situ*. No caso dos ensaios de laboratório, aceita-se a hipótese de ruptura de MOHR-COULOMB, embora não possa ser ignorada a grande dispersão de resultados.

Da mesma forma que se comentou para o peso específico, também os parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito interno) variam ao longo da profundidade do lixo, o que significa também variar com a idade do lixo.

Estes parâmetros são considerados os mais importantes, pois a análise de estabilidade dos taludes depende de sua avaliação. São os seguintes os procedimentos clássicos para essa determinação:

- Ensaios de laboratório;
- Retroanálises em superfícies de ruptura;
- Ensaios de campo.

Os primeiros, embora mais fáceis de conduzir, esbarram nas dificuldades de amostragem (representatividade) e no tamanho dos equipamentos. Na atualidade, vêm servindo para demonstrar certos conceitos teóricos ou desmistificar a construção de modelos de envoltórias bi-lineares, como se supunha anteriormente por comparação dos RSU com solo reforçado com fibras.

Os cálculos feitos por retroanálises dependem de ocorrências desagradáveis de ruptura de taludes, felizmente um evento que está ficando cada vez mais raro. Mesmo assim, o histórico destes levantamentos mostra valores muito discrepantes, com grande dispersão: a) ângulos de atrito variando de 20-40°; b) coesões variando de 0-40 kPa.

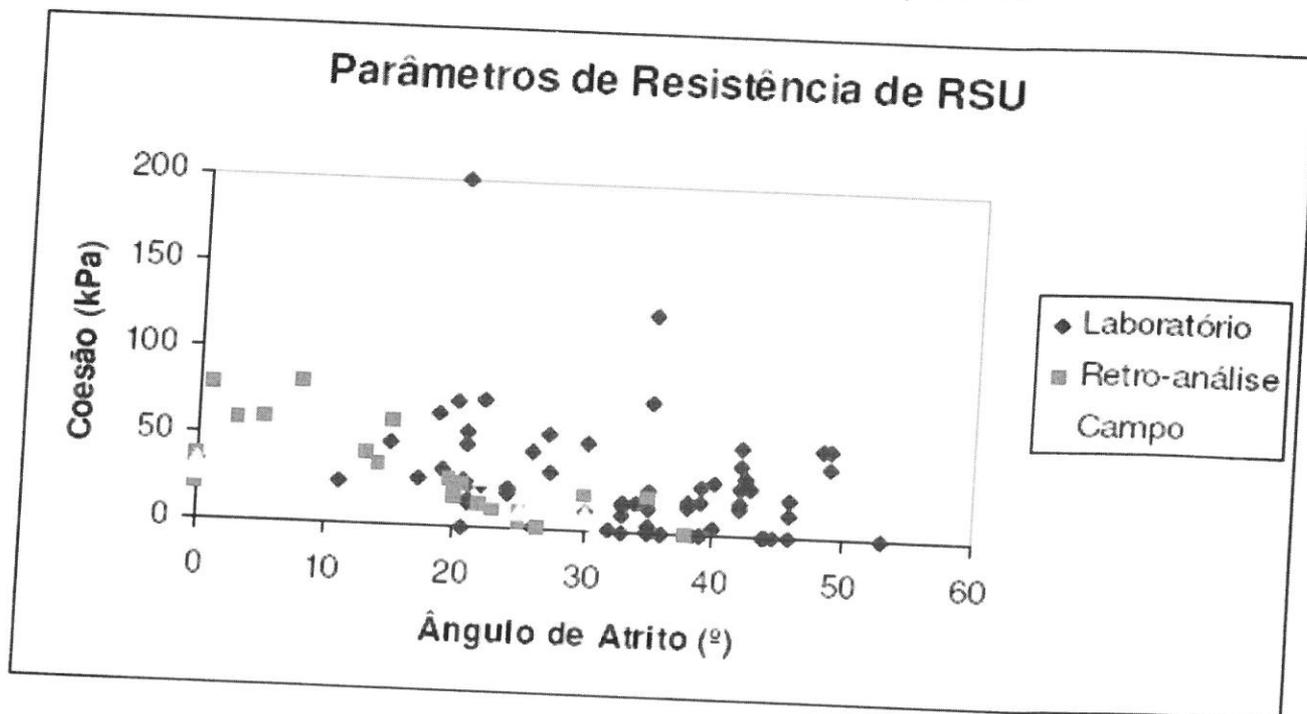
Quanto aos ensaios *in situ* (cisalhamento direto, correlações com SPT-CPT e ensaio de palheta) estão se tornando cada vez mais frequentes, apontando para uma direção que parece ser a definitiva.

Enfim, os estudos sobre a resistência ao cisalhamento dos RSU ainda se encontram num estágio onde uma solução razoável para este problema não foi encontrada, deixando os projetistas à mercê de escolhas de parâmetros dentro de faixas de grande amplitude, o que os obrigam a aceitar como inevitável ser conservadores.

### 3.6 PARÂMETROS A SEREM ADOTADOS NA ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Os parâmetros de resistência encontrados na literatura são resumidos na Figura 01 abaixo.

Figura 01 – Parâmetros de Resistência para RSU



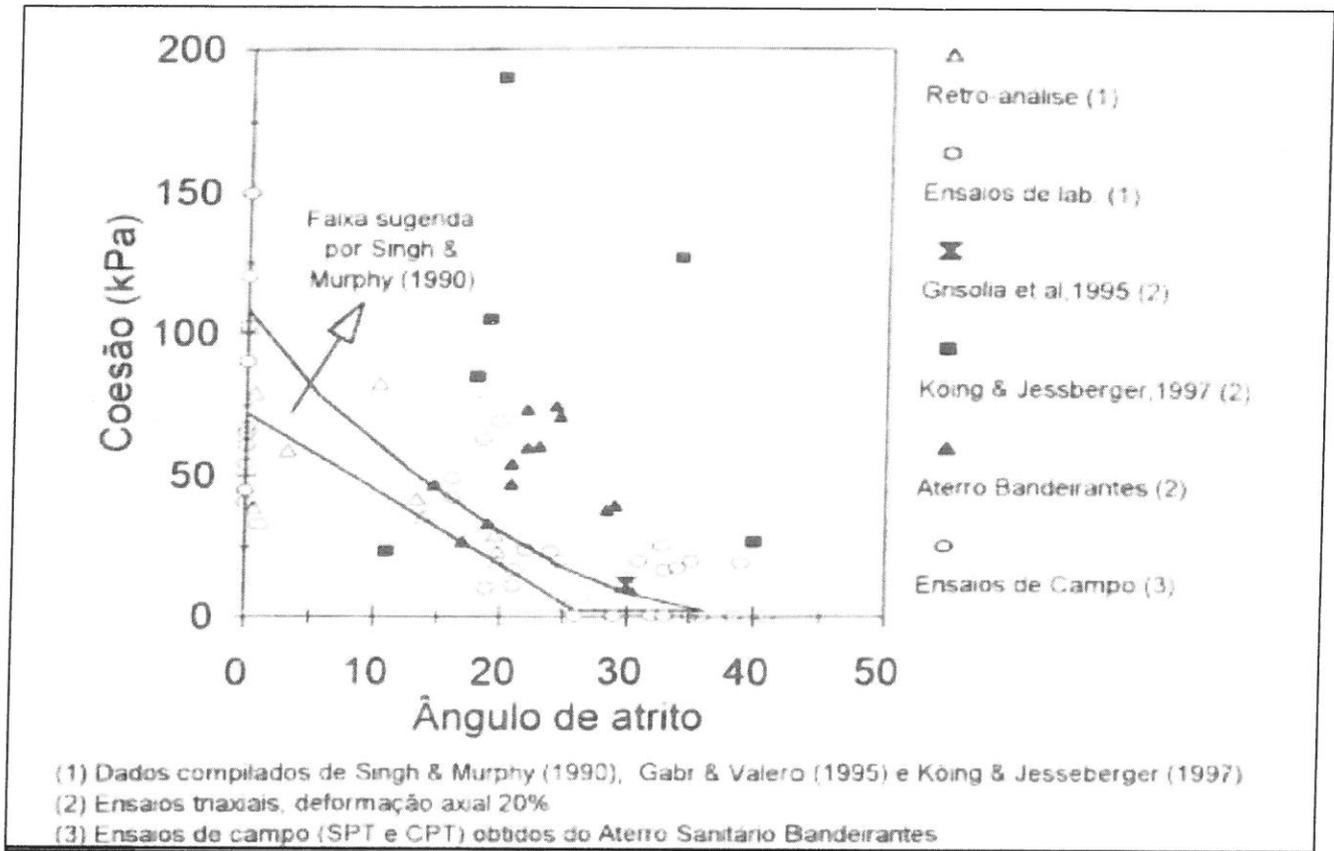
Também são muito utilizados, internacionalmente, em análises de estabilidade de aterros sanitários, os dados da Figura 02 adiante.

No caso de se prever a possibilidade de rupturas rasas, deve-se considerar a possibilidade de desprezar o ângulo de atrito e tomar a coesão como 20 kPa.

Para rupturas mais profundas, o valor da coesão é extremamente variável, podendo ir desde 0 kPa até mais de 50 kPa, enquanto que o ângulo de atrito varia desde 30° até 38°.

Portanto, a literatura não tem dado muito suporte para que os analistas de estabilidade de taludes de aterros sanitários fiquem tranquilos com suas análises. Em geral, mostra-se mais cautelosa a utilização de parâmetros de retroanálises, mesmo porque há experiências brasileiras recentes a este respeito e que justificam tais escolhas.

Figura 02 – Parâmetros de coesão e ângulo de atrito adotados para RSU



As análises mais recentes têm sido conservadoras usando-se, o valores:

$$c = 12 \text{ kPa}, \varphi = 23^\circ \text{ e } \gamma = 10 \text{ kN/m}^3.$$

**Para este estudo, estes foram os valores adotados, com a hipótese de ruptura circular e modelo de resistência seguindo a envoltória de Mohr-Coloumb.**

Desta forma, sugere-se fazer a análise em termos de tensões efetivas, isto é, considerando a posição da linha piezométrica definida pela ascensão do chorume no interior do aterro devido a um provável mau funcionamento do sistema de drenagem interna. Por outro lado, já se considera a influência da saturação nestes parâmetros.

### **3.7 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA LITERATURA SOBRE ESTABILIDADE DE TALUDES DE RSU**

Embora sem consenso, admite-se a validade das seguintes conclusões:

- Aterros com taludes mais suaves que 1:3 (V: H) e alturas inferiores a 60 m podem ser considerados incondicionalmente seguros;
- Aterros com alturas entre 40 m e 60 m e taludes variando de 1:3 (V: H) a 1:2 (V: H) devem ser analisados de acordo com os procedimentos clássicos de análise de estabilidade de taludes;
- Aterros com alturas superiores a 60 m e taludes variando de 1:2 (V: H) a 1:1,5 (V: H) sobre fundação pouco resistente ( $SPT < 4$ ) apresentam potencial de ruptura pela fundação, isto é, a ruptura da fundação provavelmente ocorrerá antes da ruptura do aterro de resíduos.

Conforme será detalhado a frente, o Aterro Sanitário de Lagoa da Prata apresenta altura total, em final de plano, de 17 m, com taludes variando entre 1:2,5 e 1:3,6 (V:H). Assim sendo, mesmo considerando a implantação da 4ª plataforma, enquadra-se como um aterro seguro.

Mesmo assim, foi feito o estudo de estabilidade, com os resultados descritos nos itens que se seguem.

#### 4. MODELO GEOMÉTRICO DO ATERRO SANITÁRIO DE LAGOA DA PRATA

As características geométricas do maciço de lixo do Aterro Sanitário de Lagoa da Prata, em final de plano, já considerando a 4ª plataforma, são apresentadas no Quadro 01 a seguir:

**Quadro 01** – Características geométricas do maciço de lixo

Plataforma	Altura (m)	Inclinação do talude (V:H)	Berma (m)
1ª	4,0	1:2,75	3,5
2ª	4,5	1:2,77	3,5
3ª	5,0	1:2,50	3,5
4ª	3,5	1:3,57	-

## 5. CENÁRIOS CONSIDERADOS NOS ESTUDOS DE ESTABILIDADE GEOTÉCNICA

Nos estudos de estabilidade geotécnica elaborados especificamente para a unidade de aterragem em questão foram considerados os seguintes cenários:

- CENÁRIO 01: Aterro em situação de final de plano, com as 4 plataformas encerradas, sem trincas e com boa drenagem interna de chorume;
- CENÁRIO 02: Aterro em situação de final de plano, com as 4 plataformas encerradas, considerando-se a ocorrência de trincas nas cristas dos taludes (que permitiriam a entrada de águas pluviais) e uma drenagem interna de chorume ineficiente, permitindo o acúmulo de chorume dentro do maciço de lixo;

OBS.: A hipótese de "final de plano" é extremamente pertinente, uma vez que em maio de 2021, o aterro já se encontra com sua altura final em suas duas primeiras etapas. Lembrando que o maciço de lixo completo possui 4 etapas.

## 6. PARÂMETROS GEOTÉCNICOS ADOTADOS

No Brasil é tradicional o uso de retroanálises para determinação dos parâmetros de interesse para o RSU, já que não há boa similaridade nas características dos materiais nos países onde são desenvolvidas mais pesquisas de laboratório. Não obstante já haver um considerável arcabouço de informações de campo em aterros brasileiros monitorados (aterros reais e experimentais), os dados mais conservadores para análises ainda são os obtidos durante a ruptura do Aterro Bandeirantes em 1991.

Tendo-se em conta estas observações serão adotados os seguintes valores para o maciço de RSU:

- Peso específico: 10 kN/m<sup>3</sup>
- Coesão efetiva: 12 kPa
- Ângulo de atrito efetivo: 23°

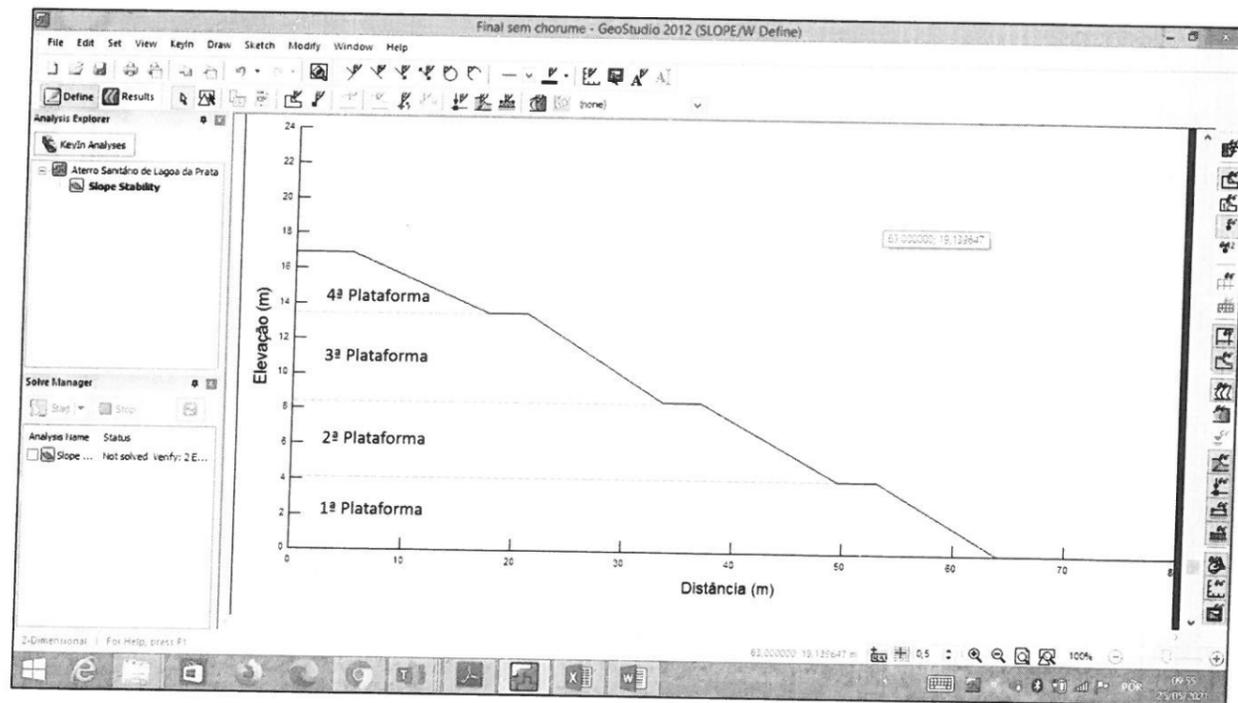
## 7. SOFTWARE E MÉTODOS DE CÁLCULO UTILIZADOS

Para os cálculos de estabilidade aqui apresentados, foi utilizado o software GeoStudio – 2012, fornecido pela GEO-SOLPE International.

Os métodos de análise utilizados foram os de Spencer e Bishop, considerando a hipótese de ruptura circular e envoltória de Mohr-Coulomb.

A Figura 03 abaixo mostra a tela de entrada do programa, já com a configuração geométrica do maciço de lixo.

Figura 03 – Tela de entrada do programa



A Figura 04 abaixo mostra os dados de entrada para o material considerado no maciço de lixo aterrado.

**Figura 04** – Dados de entrada para o material

The image shows a software window titled "KeyIn Materials". It contains a list of materials with the following columns: "Name" and "Color". One material is listed: "RSU compactados e recoberto". To the right of the list are buttons for "Add", "Delete", and "Assigned...". Below the list, there are input fields for "Name" (containing "RSU compactados e recoberto") and "Color" (with a "Set..." button). The "Material Model" is set to "Mohr-Coulomb". There are five tabs: "Basic", "Suction", "Drawdown", "Liquefaction", and "Advanced". The "Basic" tab is active and shows the following fields: "Unit Weight" (10 kN/m<sup>3</sup>), "Cohesion" (12 kPa), and "Phi" (23 °). At the bottom of the window are "Undo" and "Redo" buttons, and a "Close" button.

Name	Color
RSU compactados e recoberto	

Name: RSU compactados e recoberto      Color: Set...

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic    Suction    Drawdown    Liquefaction    Advanced

Unit Weight: 10 kN/m<sup>3</sup>      Cohesion: 12 kPa

Phi: 23 °

Undo    Redo    Close

## 8. RESULTADOS

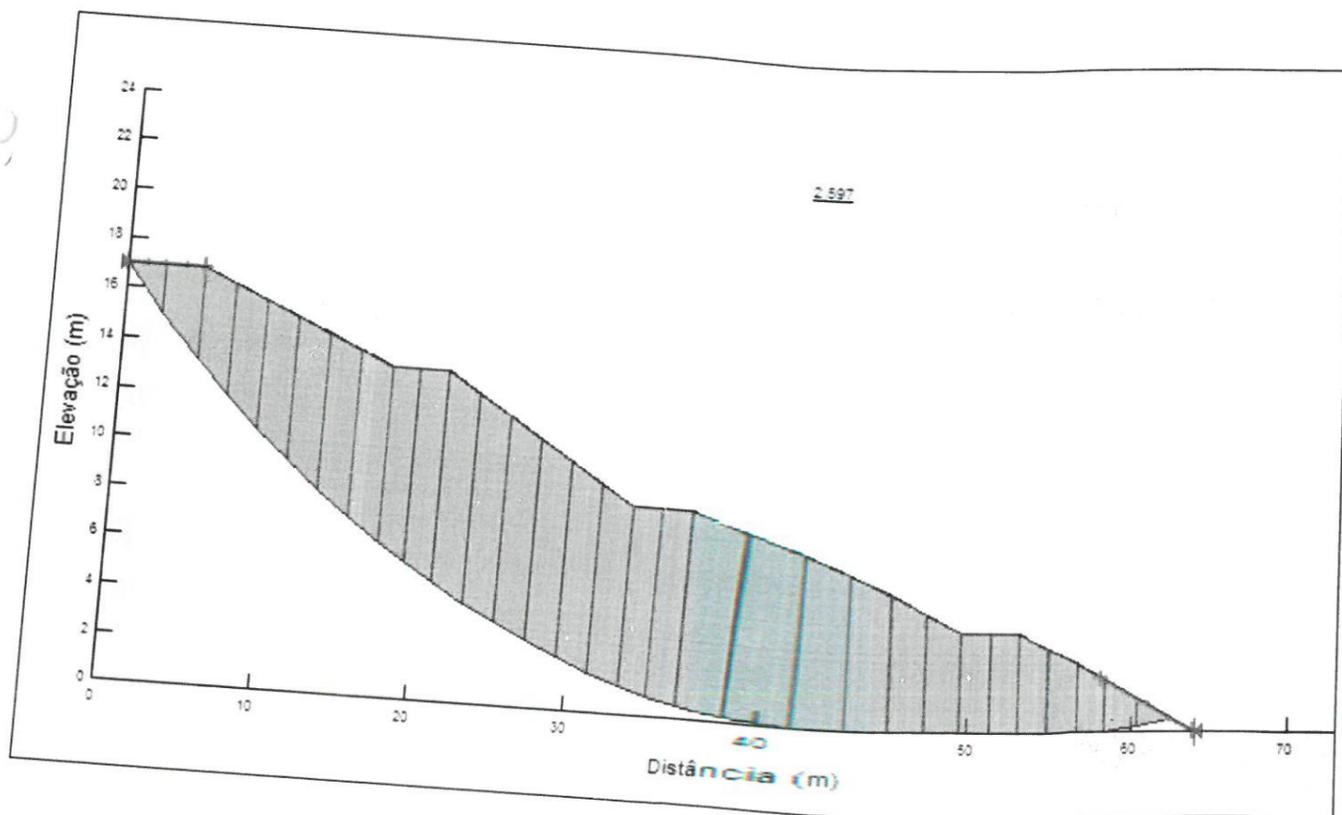
A Seguir são apresentados os resultados para o estudo de estabilidade, considerando os cenários propostos.

### 8.1 CENÁRIO 01

No Cenário 01, considera-se o maciço de lixo em final de plano, com as 4 plataformas, com o sistema de drenagem funcionando bem, sem zonas saturadas de chorume em seu interior. Sendo assim, neste cenário, não foram consideradas a Linha Piezométrica e as sobrepressões decorrentes do acúmulo de percolado.

O resultado é apresentado na Figura 05 abaixo.

Figura 05 – Ruptura circular e fator de segurança para o Cenário 01



Por não se considerar a linha piezométrica, os resultados foram os mesmos pelas análises de Spencer e Bishop.

O Coeficiente de Segurança encontrado foi de 2,597.

Este valor é muito bom, quando leva-se em conta o valor sugerido pela NBR 11.682, que é de 1,5.

O detalhamento desta análise é apresentado no Anexo – I (A), com o relatório das configurações de análise do programa.

## 8.2 CENÁRIO 02

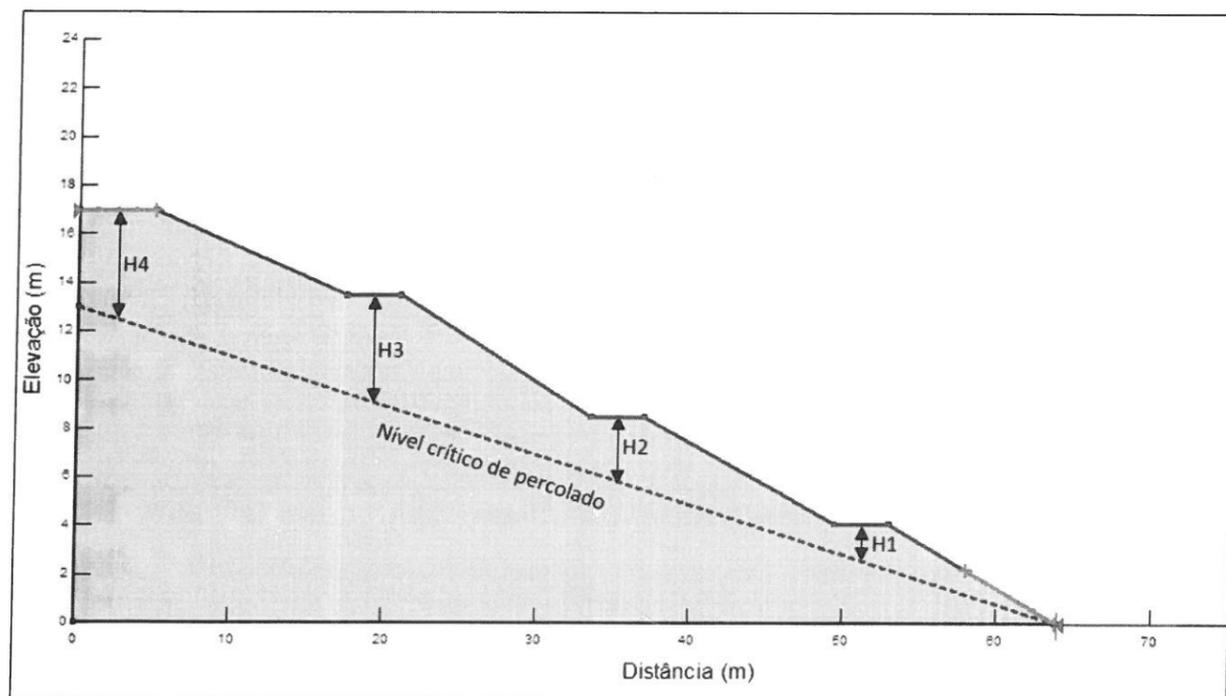
No Cenário 01, considera-se o maciço de lixo em final de plano, com as 4 plataformas encerradas. Admitiu-se a ocorrência de trincas nas cristas dos taludes (que permitiriam a entrada de águas pluviais) e uma drenagem interna de chorume ineficiente, permitindo o acúmulo de percolato dentro do maciço de lixo;

Assim sendo, neste cenário, considerou-se um Linha Piezométrica, coincidente com o nível da zona saturada de percolato dentro do maciço de lixo, o que causaria sobrepressões que contribuiriam para a instabilidade do aterro.

Foram feitas várias simulações no programa GeoStudio-2012, até se encontrar o nível crítico de chorume dentro do maciço, entendendo-se este com o nível máximo, a partir do qual o Fator de Segurança – FS da estabilidade seria menor do que 1,5.

A Figura 06 abaixo mostra a posição considerada para o nível crítico de chorume:

**Figura 06** – Nível crítico de percolato no maciço de lixo



O Quadro 02 abaixo mostra os valores da profundidade do nível crítico de percolado e as respectivas posições de medição.

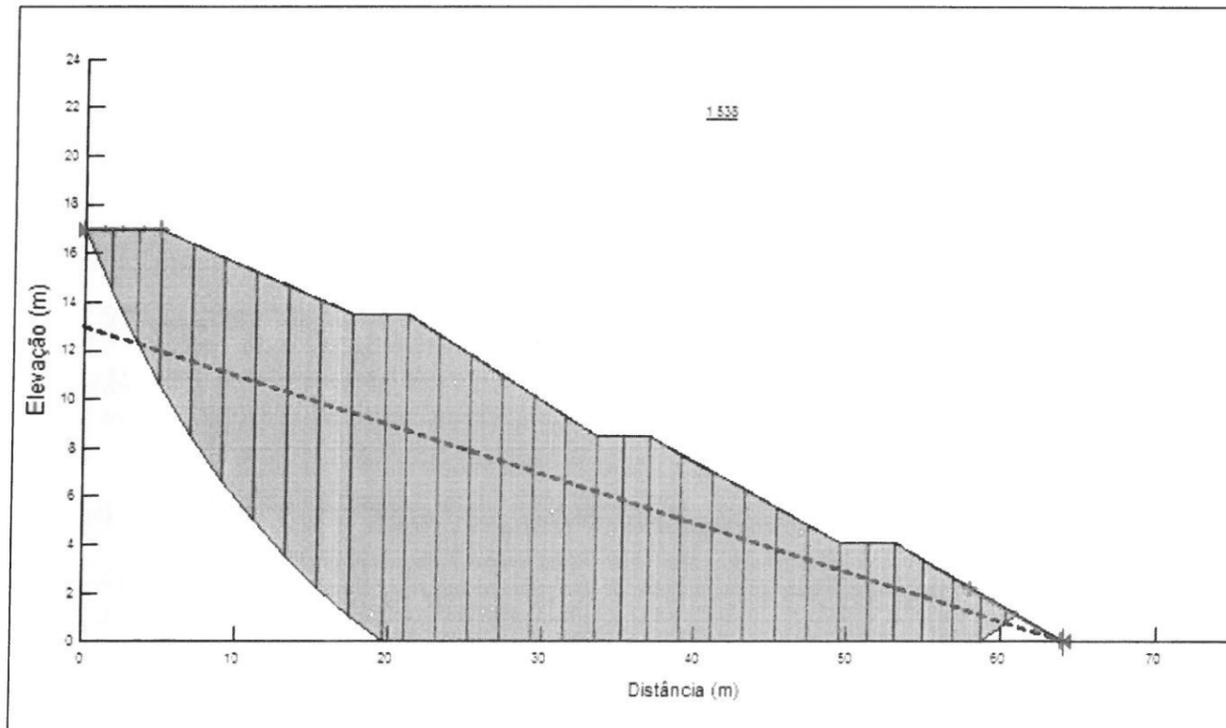
**Quadro 02** – Profundidades do nível crítico de percolado

Ponto	Localização	Valor mínimo aceitável (m)
H1	Ponto médio da berma da 1ª plataforma	1,6
H2	Ponto médio da berma da 2ª plataforma	2,5
H3	Ponto médio da berma da 3ª plataforma	4,4
H4	Há 5 m da crista da 4ª plataforma	4,0

Estes valores deverão ser monitorados pelos piezômetros (tipo CasaGrande) a serem implantados no aterro.

Sendo assim, foram rodados os modelos de estabilidade, utilizando a metodologia de Bishop e Spencer, considerando o nível crítico de percolado. A Figura 07 mostra o resultado para a simulação segundo Bishop.

**Figura 07** – Ruptura circular e fator de segurança para o Cenário 02 - Bishop

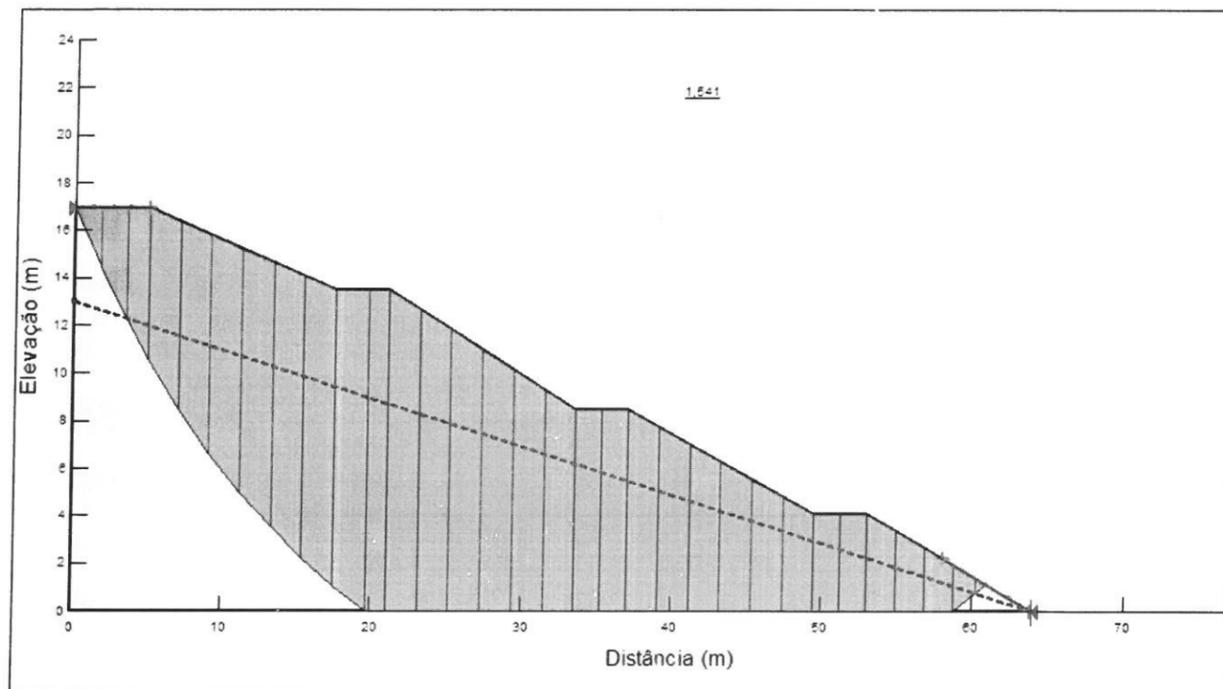


O Coeficiente de Segurança encontrado foi de 1,538.

Este valor atende ao sugerido pela NBR 11.682, que é de 1,5.

Figura 08 mostra o resultado para a simulação segundo Spencer.

**Figura 08** – Ruptura circular e fator de segurança para o Cenário 02 - Spencer



O Coeficiente de Segurança encontrado foi de 1,541.

Este valor também atende ao sugerido pela NBR 11.682.

O detalhamento destas análises é apresentado no Anexo – I (A), com o relatório das configurações de análise do programa.

## 9. CONCLUSÃO

O estudo de estabilidade realizado para o maciço de resíduos sólidos urbanos do Aterro Sanitário de Lagoa da Prata conclui pela sua estabilidade geotécnica, considerando, inclusive, a implantação da 4ª plataforma. Em todos os cenários avaliados encontrou-se um Coeficiente de Segurança – CS superior a 1,5.

Entretanto, salienta-se que deverão ser mantidos os procedimentos operacionais previstos no EIA e no PCA, no que diz respeito ao grau de compactação e ao tipo de resíduos aterrados.

Este estudo de estabilidade considerou:  $c$  (coesão) = 12 kPa,  $\phi$  (ângulo de atrito) = 23° e  $\gamma$  (peso específico) = 10 kN/m<sup>3</sup>. Estes são valores bastante conservadores, mas que podem não ser alcançados caso os procedimentos operacionais no aterro não sejam adequados, principalmente quanto à compactação e à disposição de resíduos estranhos (resíduos da construção civil, por exemplo).

O monitoramento do nível de percolado deverá ser feito nos piezômetros durante toda a vida útil do aterro, bem como depois de sua desativação, segundo a metodologia proposta nos planos de monitoramento geotécnico e de fechamento. O nível de percolado deverá ser sempre comparado com o nível crítico e, caso se aproxime deste, deverão ser tomadas as medidas previstas no Plano de Emergência.

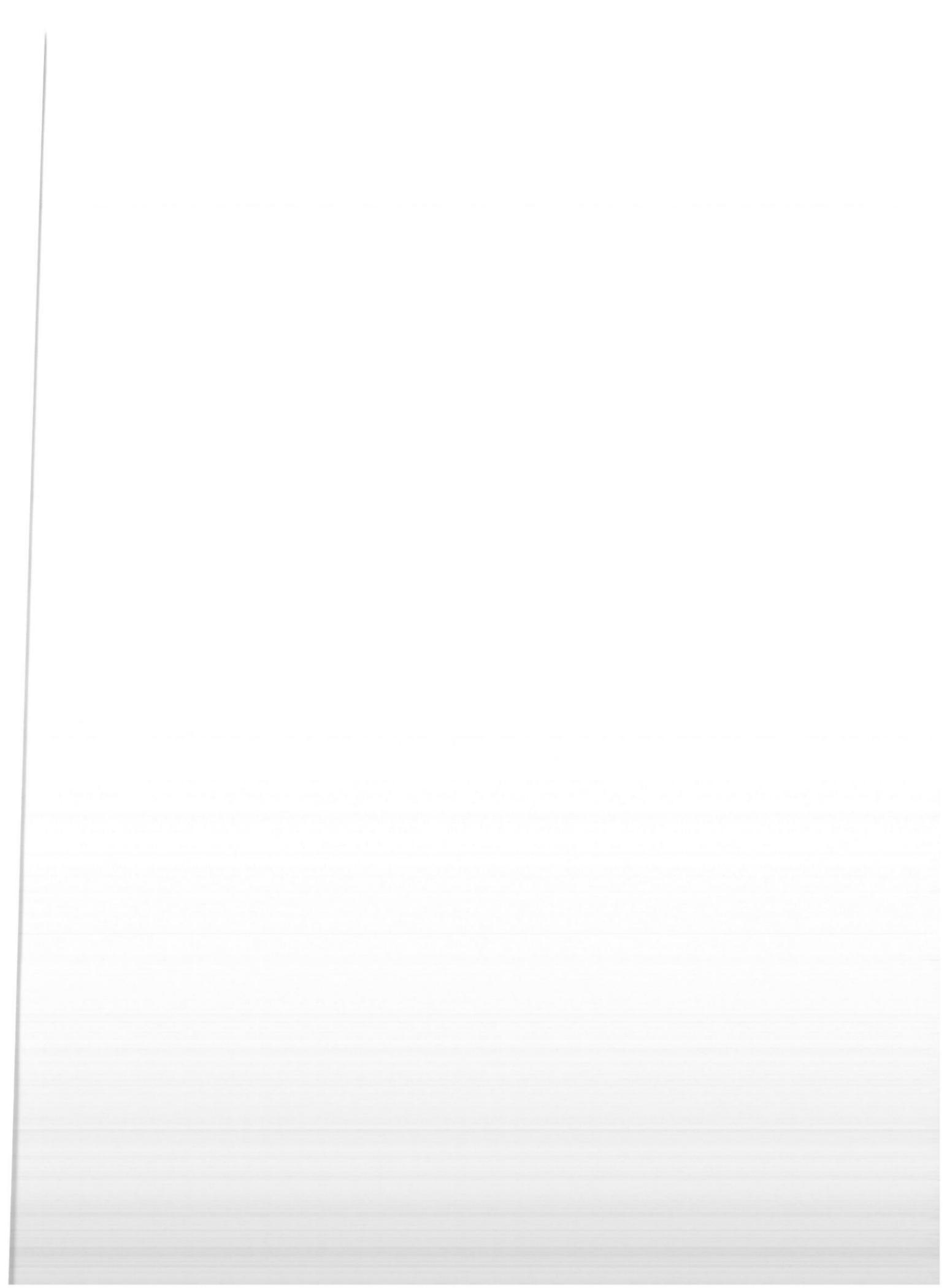
Finalmente, deverão ser seguidos integralmente os programas de Monitoramento Geotécnico e de Drenagem Pluvial, anexos a este estudo.



Clécio Eustáquio Gomide – CREA: 79.277/D

Eng. Civil Mst – Meio Ambiente, Saneamento e Rec. Hídricos

# ANEXOS



## ANEXO – I (A)

Detalhamento e configurações do programa  
(GeoStudio-2012) para o Cenário 01

## File Information

Title: Aterro Sanitário de Lagoa da Prata  
Comments: Maio de 2021  
Created By: Clécio Gomides  
Revision Number: 3  
File Version: 8.1  
Tool Version: 8.11.1.7283  
Date: 25/05/2021  
Time: 10:01:37  
File Name: Final sem chorume.gsz  
Directory: C:\Empresa\05 - Lagoa da Prata\01 - Estudo de estabilidade\Programa\  
Last Solved Date: 25/05/2021  
Last Solved Time: 10:01:38

## Project Settings

Length(L) Units: meters  
Time(t) Units: Seconds  
Force(F) Units: kN  
Pressure(p) Units: kPa  
Strength Units: kPa  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>  
View: 2D  
Element Thickness: 1

## Analysis Settings

### Slope Stability

Kind: SLOPE/W  
Method: Bishop  
Settings  
PWP Conditions Source: (none)  
Slip Surface  
Direction of movement: Left to Right  
Use Passive Mode: No  
Slip Surface Option: Entry and Exit  
Critical slip surfaces saved: 1  
Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack  
Tension Crack Option: (none)  
F of S Distribution  
F of S Calculation Option: Constant  
Advanced  
Number of Slices: 30  
F of S Tolerance: 0,001

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m  
Optimization Maximum Iterations: 2.000  
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
Starting Optimization Points: 8  
Ending Optimization Points: 16  
Complete Passes per Insertion: 1  
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### RSU compactados e recoberto

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 10 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion': 12 kPa  
Phi': 23 °  
Phi-B: 0 °

## Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (0; 16,943294) m  
Left-Zone Right Coordinate: (5; 16,943294) m  
Left-Zone Increment: 4  
Right Projection: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (58,076923; 2,196353) m  
Right-Zone Right Coordinate: (63,922596; 0,028702) m  
Right-Zone Increment: 4  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 16,943294) m  
Right Coordinate: (64; 0) m

## Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	16,943294
Point 2	5	16,943294
Point 3	17,5	13,491882
Point 4	21	13,491882
Point 5	33,5	8,471647
Point 6	37	8,471647

Point 7	49,5	4,078941
Point 8	53	4,078941
Point 9	64	0
Point 10	0	0

## Regions

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	RSU compactados e recoberto	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10	604,23

## Current Slip Surface

Slip Surface: 17

F of S: 2,597

Volume: 348,73079 m<sup>3</sup>

Weight: 3.487,3079 kN

Resisting Moment: 179.366,09 kN-m

Activating Moment: 69.078,404 kN-m

F of S Rank: 1

Exit: (62,461178; 0,57061498) m

Entry: (0; 16,943294) m

Radius: 79,497151 m

Center: (49,650645; 79,028804) m

## Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	1,25	15,983652	0	5,3746633	2,2814092	12
Slice 2	3,75	14,139794	0	22,199789	9,4232514	12
Slice 3	6,0416667	12,572037	0	34,142409	14,492593	12
Slice 4	8,125	11,2503	0	41,331608	17,544227	12
Slice 5	10,208333	10,016764	0	47,780229	20,281504	12
Slice 6	12,291667	8,8667691	0	53,514321	22,715481	12
Slice 7	14,375	7,7962635	0	58,556798	24,855886	12
Slice 8	16,458333	6,8017084	0	62,927797	26,711265	12

Slice 9	18,375	5,9485378	0	68,653713	29,141772	12
Slice 10	20,125	5,224026	0	75,869216	32,204572	12
Slice 11	22,041667	4,4881606	0	79,339164	33,677477	12
Slice 12	24,125	3,7491337	0	78,935452	33,506112	12
Slice 13	26,208333	3,0744313	0	77,900996	33,067011	12
Slice 14	28,291667	2,4623513	0	76,245222	32,364177	12
Slice 15	30,375	1,9114013	0	73,975909	31,40091	12
Slice 16	32,458333	1,4202784	0	71,099282	30,179855	12
Slice 17	34,375	1,018184	0	71,346378	30,284741	12
Slice 18	36,125	0,695761	0	74,848637	31,771361	12
Slice 19	38,008519	0,39535922	0	74,726348	31,719453	12
Slice 20	40,025556	0,12302117	0	70,877204	30,085588	12
Slice 21	42,092315	0	0	66,821236	28,363932	12
Slice 22	44,208796	0	0	59,383572	25,206831	12
Slice 23	46,325278	0	0	51,945907	22,049729	12
Slice 24	48,441759	0	0	44,508242	18,892628	12
Slice 25	50,375	0	0	40,78941	17,314077	12
Slice 26	52,125	0	0	40,78941	17,314077	12
Slice 27	53,877869	0	0	37,534157	15,932305	12
Slice 28	55,633608	0	0	31,023652	13,168759	12
Slice 29	57,389347	0	0	24,513147	10,405214	12

Slice 30	59,315707	0,12843696	0	16,991812	7,2125961	12
Slice 31	61,412688	0,41374445	0	6,302077	2,675073	12

---

## ANEXO – I (B)

Detalhamento e configurações do programa  
(GeoStudio-2012) para o Cenário 02

# Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2013 GEO-SLOPE International Ltd.

## 10. FILE INFORMATION

Title: Aterro Sanitário de Lagoa da Prata  
Comments: Maio de 2021  
Created By: Clécio Gomides  
Revision Number: 11  
File Version: 8.1  
Tool Version: 8.11.1.7283  
Date: 25/05/2021  
Time: 10:35:07  
File Name: Final sem chorume.gsz  
Directory: C:\Empresa\05 - Lagoa da Prata\01 - Estudo de estabilidade\Programa\

## 11. PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: meters  
Time(t) Units: Seconds  
Force(F) Units: kN  
Pressure(p) Units: kPa  
Strength Units: kPa  
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m<sup>3</sup>  
View: 2D  
Element Thickness: 1

## 12. ANALYSIS SETTINGS

### 1.1. SLOPE STABILITY

Kind: SLOPE/W  
Method: Bishop  
Settings  
    PWP Conditions Source: Piezometric Line  
    Apply Phreatic Correction: No  
    Use Staged Rapid Drawdown: No  
Slip Surface  
    Direction of movement: Left to Right  
    Use Passive Mode: No  
    Slip Surface Option: Entry and Exit  
    Critical slip surfaces saved: 1  
    Optimize Critical Slip Surface Location: No  
Tension Crack  
    Tension Crack Option: (none)  
F of S Distribution  
    F of S Calculation Option: Constant  
Advanced

Number of Slices: 30  
F of S Tolerance: 0,001  
Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m  
Optimization Maximum Iterations: 2.000  
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
Starting Optimization Points: 8  
Ending Optimization Points: 16  
Complete Passes per Insertion: 1  
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## 13. MATERIALS

### 1.2. RSU COMPACTADOS E RECOBERTO

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 10 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 12 kPa  
Phi: 23 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

## 14. SLIP SURFACE ENTRY AND EXIT

Left Projection: Range  
Left-Zone Left Coordinate: (0; 16,943294) m  
Left-Zone Right Coordinate: (5; 16,943294) m  
Left-Zone Increment: 4  
Right Projection: Range  
Right-Zone Left Coordinate: (58,076923; 2,196353) m  
Right-Zone Right Coordinate: (63,922596; 0,028702) m  
Right-Zone Increment: 4  
Radius Increments: 4

## 15. SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0; 16,943294) m  
Right Coordinate: (64; 0) m

## 16. PIEZOMETRIC LINES

### 1.3. PIEZOMETRIC LINE 1

#### 1. Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0	13
Coordinate 2	64	0

## 17. POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	16,943294
Point 2	5	16,943294
Point 3	17,5	13,491882
Point 4	21	13,491882
Point 5	33,5	8,471647
Point 6	37	8,471647
Point 7	49,5	4,078941
Point 8	53	4,078941
Point 9	64	0
Point 10	0	0

## 18. REGIONS

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	RSU compactados e recoberto	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10	604,23

## ANEXO – II

### Programa de Monitoramento Geotécnico

## MONITORAMENTO GEOTÉCNICO DO EMPREENDIMENTO

Deverá haver um monitoramento geotécnico periódico, tanto nas unidades de aterragem, quanto nas demais unidades operacionais do aterro sanitário de Lagoa da Prata.

Para tanto, deverão ser tomadas diversas medidas de controle e monitoramento, resumidas abaixo e detalhadas nos itens que se seguem:

- Monitoramento trimestral de recalques e/ou deformações horizontais e verticais por parte do responsável pela operação do aterro através de leituras feitas nas placas/marcos superficiais de medição de deslocamentos (MTA) instalados por sobre bermas e topo finalizados da unidade de aterragem;
- Realização de inspeções periódicas mensais junto aos maciços de lixo com objetivo de se verificar a existência ou não de rachaduras, áreas instáveis ou outro tipo de deformação ou problema geotécnico;
- Controle rigoroso e diário do processo de compactação do lixo depositado nas unidades;
- Monitoramento semanal dos sistemas de drenagem de percolados e de drenagem superficial dos maciços implantados e de todo o terreno;
- Monitoramento mensal dos drenos verticais de gases e percolados quanto ao nível dos líquidos percolados no interior dos maciços de lixo aterrado e quanto à eficiência dos drenos de percolados;
- Inspeção de taludes de corte e aterro em terreno natural quanto à formação de trincas e/ou fissuras e/ou de qualquer outro tipo de processo erosivo.

## 1. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO DA UNIDADE DE ATERRAGEM DO ATERRO SANITÁRIO

A estabilidade geotécnica de um aterro sanitário depende fundamentalmente dos seguintes aspectos e ações:

- Execução adequada dos procedimentos de aterragem, principalmente em relação ao grau de compactação, à geometria e ao recobrimento diário e final dos resíduos;
- Manutenção dos taludes e maciços em condições de baixa umidade;
- Observação da integridade dos maciços quanto a movimentos de massas (incluindo deslocamentos), principalmente em termos de trincas e erosões superficiais;
- Manutenção do nível de chorume no interior dos maciços dentro de limites aceitáveis.

Pode-se afirmar que o controle geotécnico é o componente mais importante para a segurança de um aterro sanitário e consistem nos seguintes monitoramentos em conjunto:

- Monitoramento do sistema de drenagem superficial de águas pluviais
- Monitoramento de trincas;
- Monitoramento de recalques e deslocamentos;
- Monitoramento de erosões e de movimentos de massas nos taludes;
- Monitoramento de vazões dos percolados;
- Monitoramento do nível de chorume no interior do maciço.

Para os monitoramentos acima relacionados, deverão ser utilizados os seguintes meios e procedimentos:

- Instalação e manutenção adequada do sistema de drenagem superficial de águas pluviais por sobre e a montante da unidade de aterragem, uma vez que os recalques tendem a formar colos na superfície dos maciços e a alterar as suas declividades, prejudicando as condições de escoamento superficial;
- Verificação de eventuais ocorrências de trincas nas camadas de cobertura diária e/ou final da unidade de aterragem;
- Implantação e utilização de medidores de recalques superficiais por sobre as superfícies finalizadas da unidade de aterragem (MTA), devendo os referidos medidores serem instalados de forma alinhada um ao outro de modo a permitir coleta de dados de forma adequada para análises periódicas;
- Implantação dos drenos verticais de gases/ percolados e piezômetros, com o monitoramento do nível dos percolados/chorume através destes dispositivos;

- Implantação do dispositivo de medição das vazões geradas pela unidade de aterragem.

### **1.1 Controle do sistema de drenagem superficial de águas pluviais**

Em relação à drenagem superficial de águas pluviais, todos os seus dispositivos deverão ser inspecionados periodicamente nas seguintes frequências:

- Antes e após a estação chuvosa;
- Após a ocorrência de toda e qualquer chuva intensa ou prolongada.

Quando houver a verificação de dispositivos assoreados, trincados ou com as suas declividades originais alteradas, deverão ser promovidas ações imediatas para a correção dos problemas identificados.

Salientamos que as atividades listadas acima são melhor detalhadas no “Programa de manutenção dos sistemas de drenagem pluvial”, apresentado em atendimento à Informação Complementar nº 19.

### **1.2 Controle de trincas e movimentos de massas**

O controle dos movimentos de massas será feito mensalmente através da inspeção dos taludes, bermas e topo do aterro sanitário/unidade de aterragem, percorrendo-os em toda a sua extensão. As observações a serem feitas deverão produzir relatórios apontando ou não os seguintes indícios:

- Trincas;
- Abatimentos;
- Formação de colos superficiais em bermas, taludes e topo.

Especial atenção deverá ser dada, durante as inspeções, na avaliação dos trechos onde se concentram os maiores deslocamentos e recalques relativos, bem como as maiores velocidades correspondentes.

A frequência mensal poderá ser aumentada para semanas ou dias no caso de se verificar a existência de alguma condição crítica, requerendo monitoramentos paralelos, como acompanhamento topográfico dos abatimentos e formação de colos e medição das características geométricas das trincas.

Cada vistoria deverá gerar um relatório sumário onde devem ser ressaltadas as conclusões e as medidas recomendadas para resolver as questões problemáticas.

As inspeções de rotina poderão ser feitas pelo encarregado geral da operação do aterro, desde que devidamente treinado para tal finalidade. Por outro lado, as inspeções extraordinárias, quando motivadas pelo surgimento de problemas, deverão ser feitas pelo engenheiro responsável pela operação do aterro e, eventualmente, acompanhado do projetista e/ou de outros profissionais devidamente habilitados para a solução do problema.

O monitoramento de trincas consistirá de inspeções visuais e deverá ser feito diretamente pelo responsável técnico do aterro ou seu preposto, devidamente treinado e qualificado para a inspeção, tendo como objetivos principais as seguintes observações e verificações:

- Detectar o surgimento de trincas;
- Classificar as trincas quanto à abertura e à extensão;
- Acompanhar a morfometria (largura e extensão) de trincas já existentes;
- Recomendar medidas de controle e remediação (preenchimento).

### **1.3 Controle geométrico e de recalques**

O monitoramento de recalques e deslocamentos será feito por meio de Marcos Topográficos do Aterro – MTA (38 unidades), instalados por sobre as bermas e topo dos maciços de lixo acabados que permitirão a detecção de abaulamentos e de movimentações provenientes das medições das coordenadas de cada marco.

A Figura 01 adiante ilustra os marcos - MTA a serem utilizados no controle topográfico/geotécnico do Aterro Sanitário de Lagoa da Prata (salienta-se que a foto é meramente ilustrativa, sendo que os marcos topográficos para o aterro ainda serão confeccionados).

A instalação de cada MTA será feita após a finalização dos trabalhos de proteção vegetal dos taludes e execução do sistema de drenagem superficial de águas pluviais, quando as bermas e o topo do aterro sanitário não estiverem mais sujeitas a tráfego pesado.

Salienta-se que no aterro sanitário de Lagoa da Prata, estes marcos ainda não foram instalados. A sua instalação será feita após a aprovação deste programa de monitoramento, conforme cronograma apresentado. A disposição destes marcos topográficos do aterro – MTA está representada no Desenho 02 – “Projeto de Implantação + 4ª plataforma (maciço), apresentado em atendimento à IC nº 13.

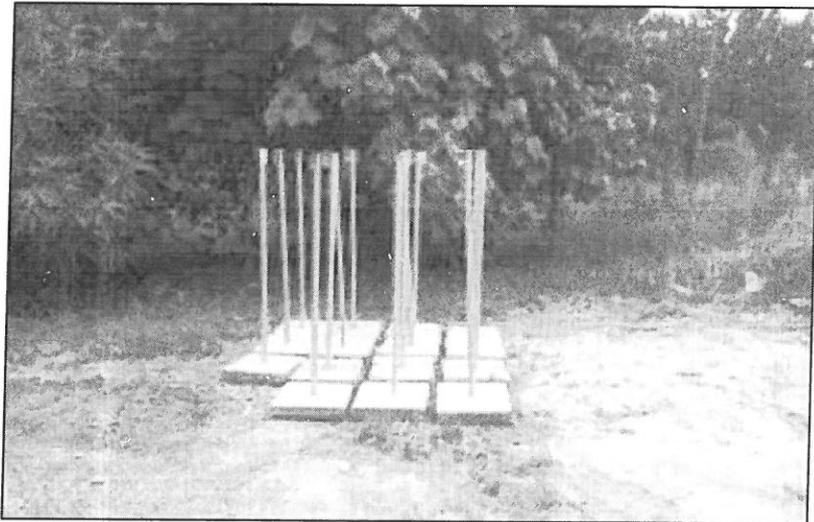


Figura 01 – Marcos Topográficos (MTA) comumente encontrados no mercado

A primeira leitura será feita imediatamente após a instalação dos marcos, fazendo-se as medições das coordenadas tomando-se por base os marcos topográficos (fixos) instalados em terreno natural (MTT) dentro da área do aterro sanitário de Lagoa da Prata.

A Figura 02 adiante exemplifica um marco topográfico de terreno – MTT. Serão implantados duas unidades para o controle topográfico/geotécnico do Aterro Sanitário de Lagoa da Prata (salienta-se que a foto é meramente ilustrativa, sendo que os marcos topográficos para o aterro ainda serão confeccionados).



Figura 02 – Exemplo de Marco Topográfico de Terreno – MTT

Além disto, os marcos MTA deverão ser georeferenciados sempre em relação aos marcos topográficos do terreno – MTT

Estes marcos MTT e MTA também auxiliarão o acompanhamento e o monitoramento da conformação geométrica da unidade de aterragem e a coleta de informações sobre volumes de resíduos aterrados.

Salienta-se que no aterro sanitário de Lagoa da Prata, estes marcos (MTT) ainda não foram instalados. A sua instalação (2 unidades) será feita após a aprovação deste programa de monitoramento, conforme cronograma apresentado. A disposição destes marcos topográficos do terreno – MTT está representada no Desenho 01, apresentado em atendimento à IC nº 13.

A operação do aterro deverá ser controlada periodicamente por topografia visando observar as cotas de projeto de cada plano formado pelos maciços aterrados.

A frequência de leituras deverá ser trimestral, mas poderá ser reduzida para mensal em meses mais chuvosos. Em caso de anomalias, a frequência poderá ser ainda mais reduzida, chegando-se ao extremo de diversas repetições diárias na iminência de ruptura.

A cada nova leitura deverá ser gerado um relatório contendo os resultados e os gráficos de monitoramento de cada marco MTA, incluindo os valores dos deslocamentos verticais (recalques) e horizontais observados, sendo estes uma combinação vetorial dos deslocamentos nas direções (x, y).

Obrigatoriamente e utilizando-se dos marcos MTA e MTT, os responsáveis pela operação do empreendimento deverão elaborar os seguintes gráficos:

- Recalque total x tempo (para cada placa);
- Recalque relativo x tempo (para cada placa);
- Deslocamento horizontal x tempo (para cada placa);
- Deslocamento horizontal relativo x tempo (para cada placa).

Os procedimentos administrativos de controle recomendados deverão se basear nos relatórios e recomendações técnicas relacionadas adiante, a serem elaborados e apresentados com a mesma frequência das leituras ao engenheiro responsável pela operação do aterro para conferência e chancela:

- Não serão fixados parâmetros orientadores para os limites de controle dos deslocamentos por falta de dados consistentes na prática da engenharia ambiental, mas sugere-se que as zonas de maiores deslocamentos resultantes sejam cuidadosamente monitoradas quanto ao surgimento de trincas de tração nas cristas de taludes;

## 1.4 Controle da superfície (nível) crítica de elevação do chorume

O controle do nível de chorume dentro do maciço de lixo em aterros sanitários, é feito pela utilização de piezômetros, instalados de modo que acompanhem a evolução volumétrica e altimétrica do aterro.

Para aterros sanitários de pequenas alturas, como é o caso do Aterro Sanitário de Lagoa da Prata, a experiência prática adquirida pelo monitoramento de empreendimentos em operação confirma que a utilização de piezômetros tipo Casagrande são adequados ao monitoramento geotécnico eficaz. Vale ressaltar que os piezômetros tipo Casagrande apresentam os benefícios de serem simples de instalar e monitorar, de possuírem reduzidos custos de instalação e por não se desfazerem tão facilmente pela ação dos recalques que naturalmente ocorrem durante a biodegradação dos resíduos no interior de um aterro sanitário, características estas que são importantíssimas para a operação destes empreendimentos.

Estes piezômetros consistem em tubos plásticos introduzidos dentro dos drenos verticais, desde a base do aterro até a superfície. Nos primeiros 1,5 m do tubo ele é perfurado, permitindo o ingresso do líquido percolado em seu interior. O nível de chorume dentro do maciço pode ser medido então introduzindo-se uma sonda de nível dentro do tubo.

Pelo exposto, definiu-se pela especificação de piezômetros tipo Casagrande para o monitoramento do nível do chorume no interior da unidade de aterragem do Aterro Sanitário de Lagoa da Prata.

Entretanto, até o presente estágio de implantação/operação, os drenos verticais (gases/percolado) não foram executados como piezômetros. Não é possível, tecnicamente, transformar os drenos já implantados em piezômetros, como não é possível a implantação de novos piezômetros sobre as áreas já aterradas do maciço. A pouca estabilidade do lixo aterrado inviabiliza a escavação para a implantação destes dispositivos.

A proposta é implantar alguns dos drenos verticais futuros, onde a disposição ainda não começou ou ainda está na 1ª plataforma, como piezômetros Casagrande. No desenho 02 – “PROJETO IMPLANTAÇÃO + 4ª plataforma” é apresentada a locação de 6 (seis) drenos verticais que serão implantados e funcionarão como piezômetros Casagrande.

Junto aos piezômetros Casagrande, deverão ser realizadas medições mensais para fins de obtenção do nível de percolados/chorume em função da biodegradação dos resíduos e da infiltração de águas de origem pluvial a fim de se controlar a ascensão da linha de saturação do aterro sanitário e a sua variação temporal.

Os resultados das medições do nível dos percolados no interior do aterro sanitário deverão ser referenciados em relação à cota de base da plataforma de aterragem e em

relação ao nível dos maciços correspondentes. Se o monitoramento realizado constatar indícios de que o nível da lâmina dos percolados possa estar indevidamente e excessivamente elevado, deverão ser estudadas e realizadas ações emergenciais para diminuição do seu nível através de bombeamento, por exemplo.

As leituras da altura da manta líquida no interior do aterro sanitário serão feitas em todos os drenos verticais de gases e percolados, novos, a serem implantados.

A frequência do controle do nível de chorume no aterro será trimestral, passando para mensal nos meses nos quais forem verificadas as maiores precipitações pluviométricas.

Os dados obtidos devem ser interpretados da seguinte forma:

- Medir, por nivelamento topográfico a partir de marcos de referência fixos (MTT), as cotas das bocas dos drenos DGP e das caixas CIP – leitura (1);
- Medir a profundidade da manta líquida - leitura (2);
- Subtrair a leitura (2) da leitura (1) para determinar a cota da superfície líquida;

## **1.5 Controle da compactação dos resíduos**

Deverá haver um controle rigoroso e diário do processo de compactação do lixo depositado na unidade de aterragem, sempre em concordância com os procedimentos operacionais especificados nas medidas de controle ambiental tratadas no EIA e PCA.

A determinação do índice de compactação se fará por meio de comparação entre as medições de volumes ocupados pelos resíduos aterrados e as quantidades/pesos de resíduos aterrados (lixo + material de recobrimento) no mesmo período, com medições realizadas em frequências trimestrais, por meio de equipe de topografia.

## 2. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO DAS DEMAIS UNIDADES OPERACIONAIS

Deverá ser realizado um monitoramento geotécnico visual, de frequência mensal em períodos de seca e diária nos períodos chuvosos, de toda a área do empreendimento, quando devem ser monitorados os seguintes pontos:

- Monitoramento dos sistemas de drenagem superficial de águas pluviais;
- Cobertura vegetal de taludes definitivos de corte e aterro em solo natural;
- Trincas e/ou fissuras em taludes definitivos de corte e aterro em solo natural;
- Início da ocorrência de processos erosivos em qualquer local do terreno.

Os procedimentos de monitoramento geotécnico de cortes e aterros em terreno/solo natural serão os mesmos indicados, quando aplicáveis, para a unidade de aterragem do aterro sanitário.

## 3. CRONOGRAMA

A maioria das atividades previstas neste Programa de Monitoramento Geotécnico são rotineiras e a sua frequência/periodicidade são apresentadas no corpo do texto.

Apresentamos abaixo o cronograma das atividades que dependem da implantação de instrumentos físicos.

Atividade	Tempo (meses) *		
	1	2	3
Implantação dos MTA **		■	■
Implantação dos MTT		■	■
Implantação dos Piezômetros Casagrande ***	■		

\* Tempo contado a partir da aprovação deste programa de monitoramento;

\*\*Implantação dos MTA nas áreas já finalizadas, o restante será implantado com a evolução do aterro;

\*\*\*Início da implantação nos novos drenos verticais, na medida em que forem sendo implantados e evoluírem com o maciço de lixo aterrado;

Clécio Eustáquio Gomide – CREA: 79.277/D

Eng. Civil Mst – Meio Ambiente, Saneamento e Rec. Hídricos

## **ANEXO – III**

Programa de manutenção dos sistemas de drenagem  
pluvial

# Programa de manutenção dos sistemas de drenagem pluvial



## Aterro Sanitário Municipal de Lagoa da Prata

Maio / 2021

*“Um sistema de drenagem superficial de águas pluviais visa o controle e a minimização de processos erosivos, o carreamento de particulados/sólidos finos para jusante do empreendimento e a minimização da entrada de água de chuva para o interior dos maciços de lixo aterrado. Para tanto ele precisa ser bem projetado, implantado e passar por constantes e rotineiras MANUTENÇÕES”*

## INDICE

1. INFORMAÇÕES CADASTRAIS .....	5
1.1 EMPREENDEDOR .....	5
1.2 EMPREENDIMENTO .....	5
1.3 RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO ESTUDO .....	6
1.4 PROFISSIONAL:.....	6
2. Objetivo .....	7
3. Introdução .....	8
4. programa de manutenção.....	9
4.1 Drenagem pluvial geral.....	10
4.2 Drenagem na Área de Aterragem.....	11
4.3 Drenagem nas vias de circulação interna.....	12
4.4 Drenagem no pátio de compostagem.....	12
4.5 Disposição final / bacia de infiltração.....	13
5. CONSIDERAÇÃO FINAL.....	14

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Assoreamento e limpeza de canaletas de drenagem .....	<b>11</b>
--	-----------

# 1. INFORMAÇÕES CADASTRAIS

## 1.1 EMPREENDEDOR

- Razão Social: Prefeitura Municipal de Lagoa da Prata.
- Endereço: Rua Joaquim Gomes Pereira, 825, Centro, Lagoa da Prata/MG, CEP 35.590-000.
- CNPJ: 18.318.618 / 0001 – 60
- Telefone: (37) 3262 – 5300
- Site na internet: <http://lagoadaprata.mg.gov.br/>
- E-mail: [meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br](mailto:meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br)

## 1.2 EMPREENDIMENTO

- Razão Social: Prefeitura Municipal de Lagoa da Prata – Aterro Sanitário.
- Nome Fantasia: Aterro Sanitário Municipal
- Endereço: Avenida Vereador Milton Lacerda, 1671, Distrito Industrial, Lagoa da Prata/MG, CEP 35.590-000.
- Telefone: (37) 99961 – 6625
- E-mail: [meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br](mailto:meioambiente@lagoadaprata.mg.gov.br)

### **1.3 RESPONSABILIDADE TÉCNICA DO ESTUDO**

- Razão Social: Gomides Consultoria em Meio Ambiente e Saneamento Ltda.
- Endereço: Rua Capitólio – 760, bairro Santo Antônio, Divinópolis - MG, CEP 35.502-039.
- CNPJ: 11.425.319 / 0001 – 85
- CREA: 56.435

### **1.4 PROFISSIONAL:**

- Profissional: Eng. Clécio Eustáquio Gomides
- Engenheiro Civil / Sanitarista – Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos      CREA - MG: 79.277 / D
- Telefone: (37) 3212-5577 / 98412- 8427
- E-mail: cleciogomides@yahoo.com.br

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste texto é apresentar o Programa de manutenção dos sistemas de drenagem pluvial para o Aterro Sanitário Municipal de Lagoa da Prata – MG.

Segundo o Item 5.2.5 da NBR 13896/1997 (Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação), o sistema de drenagem de água não contaminada dos Aterros Sanitários deve ser inspecionado regular e obrigatoriamente após as tempestades, com a finalidade de manter, repor, desassorear e esgotar as bacias de contenção e de dissipação de energia, a fim de manter o sistema em operação.

Este texto aborda a manutenção preventiva e corretiva, de todas as unidades componentes do sistema de drenagem pluvial do aterro sanitário municipal de Lagoa da Prata, de forma periódica e rotineira, se intensificando na época de chuvas e principalmente depois de precipitações intensas.

### 3. INTRODUÇÃO

O sistema de drenagem superficial visa, na área de aterragem de resíduos, evitar o aumento da produção de chorume e garantir a estabilidade do aterro, através da interceptação e disciplinamento das águas pluviais incidentes sobre a área, seja pela precipitação direta ou pelo escoamento oriundo das áreas a montante.

Nas vias de circulação interna o sistema de drenagem pluvial visa evitar os empoçamentos e processos erosivos, conduzindo a água da chuva para as canaletas de drenagem e destas para o sistema de infiltração no solo.

No pátio de compostagem, o sistema de drenagem pluvial visa evitar o ingresso da área externa para o interior do pátio, resguardando as leiras de compostagem e diminuindo a geração de chorume.

Todo o empreendimento é dotado de sistema de drenagem pluvial, composto por canaleta meia cana de concreto, poços de visita – PVs, tubulações de condução, escadas de dissipação e sistema de dissipação para o recebimento das águas pluviais no solo.

Salienta-se que todo o sistema de drenagem pluvial foi dimensionado de acordo com as normas pertinentes. Todas as áreas superficiais possuem declividade no sentido das canaletas de drenagem. Nas frentes de serviço, até que as plataformas de resíduos sejam formadas definitivamente, são feitos sulcos na superfície do solo (curvas de nível) para a drenagem provisória das águas de chuvas. O sistema proposto constitui-se basicamente de uma rede de canaletas que deverão ser executadas durante a operação do aterro.

#### 4. PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Para maior facilidade, dividiu-se o programa de manutenção da seguinte forma:

- a) Drenagem Pluvial Geral: Listando os procedimentos de manutenção a serem adotados de forma geral, em todos os componentes do sistema no Aterro Sanitário Municipal de Lagoa da Prata.
- b) Drenagem na Área de Aterragem: Listando os procedimentos de manutenção a serem adotados especificamente na área de aterragem dos resíduos.
- c) Drenagem nas vias de circulação interna: Listando os procedimentos de manutenção a serem adotados especificamente nas vias de circulação interna.
- d) Drenagem no pátio de compostagem: Listando os procedimentos de manutenção a serem adotados especificamente no pátio de compostagem.
- e) Disposição final / bacia de infiltração: Listando os procedimentos de manutenção a serem adotados especificamente na Disposição final / bacia de infiltração

#### 4.1 DRENAGEM PLUVIAL GERAL

Serão realizadas **inspeções mensais e também após chuvas intensas** de forma a se identificar fenômenos tais como:

- Inversão no sentido de escoamento das drenagens;
- Quebra de tubulações, canaletas etc.;
- Recalque dos caimentos dos taludes e bermas;
- Erosão e danos à cobertura vegetal.
- Assoreamento de canaletas de drenagem

Toda ocorrência detectada será objeto de providências imediatas, de forma a restabelecer, no menor tempo possível, as condições ótimas previstas para o funcionamento da drenagem superficial.

Um dos problemas mais recorrentes nos sistema de drenagem pluvial de aterros sanitários é o assoreamento das canaletas de drenagem, o que ocorre, principalmente depois de chuvas intensas. A Figura 01 mostra este acontecimento e a respectiva medida corretiva.

**Figura 01** – Assoreamento e limpeza de canaletas de drenagem



Fonte: LIMPEBRAS, 2012 – Aterro Sanitário de Uberlândia

O responsável técnico pela operação do empreendimento deverá ficar atento à necessidade de instalação, tanto dos drenos previstos pelo projeto, quanto de drenos extras cuja necessidade for verificada no decorrer da operação e da implantação das etapas posteriores do empreendimento.

#### **4.2 DRENAGEM NA ÁREA DE ATERRAGEM**

Além de observar todos os itens previstos na “Drenagem Pluvial Geral”, com frequência mensal e sempre após precipitações intensas, deverá se ficar atento a:

- Empoçamentos
- Processos erosivos

Toda e qualquer irregularidade observada deverá ser imediatamente corrigida, afim de garantir a integridade do maciço de lixo e a menor geração possível de líquido percolado.

### **4.3 DRENAGEM NAS VIAS DE CIRCULAÇÃO INTERNA**

Além de observar todos os itens previstos na “Drenagem Pluvial Geral”, com frequência mensal e sempre após precipitações intensas, deverá se ficar atento a:

- Empoçamentos
- Obstrução das canaletas e tubulações

Toda e qualquer irregularidade observada deverá ser imediatamente corrigida, afim de garantir a segurança do tráfego dentro da área do aterro sanitário.

### **4.4 DRENAGEM NO PÁTIO DE COMPOSTAGEM**

Além de observar todos os itens previstos na “Drenagem Pluvial Geral”, com frequência mensal e sempre após precipitações intensas, deverá se ficar atento a:

- Empoçamentos
- Obstrução das canaletas e tubulações
- Ingresso de água externa ao pátio

Toda e qualquer irregularidade observada deverá ser imediatamente corrigida, afim de garantir que a drenagem interna do pátio, que deve ser encaminhada à ETE, não se misture com a drenagem externa e vice versa.

#### **4.5 DISPOSIÇÃO FINAL / BACIA DE INFILTRAÇÃO**

Neste ponto, onde toda a drenagem pluvial recolhida na Área do Aterro Sanitário Municipal de Lagoa da Prata será lançada, deverão ser verificados mensalmente e sempre após precipitações intensas:

- Existência de processos erosivos
- Presença de resíduos sólidos

Caso sejam observados processos erosivos, o sistema deverá ser recalculado, verificando a necessidade de aumentar a sua área ou instalar dispositivos de dissipação de energia.

Caso sejam observados resíduos sólidos, deverá ser investigada a sua fonte e sanado o problema.

## 5. CONSIDERAÇÃO FINAL

O sistema de drenagem pluvial é uma das partes mais importantes de um aterro sanitário, cabendo também a ele, dentre outras coisas, a manutenção da integridade estrutural do maciço de lixo.

Desta forma, deve-se seguir, de forma irrestrita, as recomendações previstas neste programa de manutenção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR-13.895, 1985;
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR-13.896, 1997;
- BARROS, Rafael T. V. Resíduos Sólidos, UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia /Depto de Engenharia Sanitária, BH, 1996;
- CRUZ, Paulo T. Estabilidade de Taludes, Editora Edgar Blücher Ltda. São Paulo, 1976;