

**INSTITUTO FEDERAL SUL-RIO-GRANDENSE**

**UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL**

**Programa de Fomento ao Uso das**

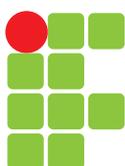
**TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO E INFORMAÇÃO NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO - TICS**

TICS

## **DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS**

**Jocelito Saccol de Sá**

Ministério da  
Educação



**INSTITUTO FEDERAL  
SUL-RIO-GRANDENSE**



**C A P E S**





Copyright© 2011 Universidade Aberta do Brasil  
Instituto Federal Sul-rio-grandense

**Apostila de Disposição Final de Resíduos**

SA, J. S.

**2012/1**

Produzido pela Equipe de Produção de Material Didático da Universidade Aberta do Brasil do Instituto Federal Sul-rio-grandense

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

### **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Dilma Rousseff**

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

### **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**Fernando Haddad**

MINISTRO DO ESTADO DA EDUCAÇÃO

**Luiz Cláudio Costa**

SECRETÁRIO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR - SESU

**Eliezer Moreira Pacheco**

SECRETÁRIO DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

**Luís Fernando Massonetto**

SECRETÁRIO DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA – SEED

**Jorge Almeida Guimarães**

PRESIDENTE DA COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES

### **INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE [IFSUL]**

**Antônio Carlos Barum Brod**

REITOR

**Daniel Espírito Santo Garcia**

PRÓ-REITOR DE ADMINISTRAÇÃO E DE PLANEJAMENTO

**Janete Otte**

PRÓ-REITORA DE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL

**Odeli Zanchet**

PRÓ-REITOR DE ENSINO

**Lúcio Almeida Hecktheuer**

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

**Renato Louzada Meireles**

PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO

### **IF SUL-RIO-GRANDENSE CAMPUS PELOTAS**

**José Carlos Pereira Nogueira**

DIRETOR-GERAL DO CAMPUS PELOTAS

**Clóris Maria Freire Dorow**

DIRETORA DE ENSINO

**João Róger de Souza Sastre**

DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E PLANEJAMENTO

**Rafael Blank Leitzke**

DIRETOR DE PESQUISA E EXTENSÃO

**Roger Luiz Albernaz de Araújo**

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR

### **IF SUL-RIO-GRANDENSE**

#### **DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA**

**Luis Otoni Meireles Ribeiro**

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

**Beatriz Helena Zanotta Nunes**

COORDENADORA DA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB/IFSUL

**Marla Cristina da Silva Sopena**

COORDENADORA ADJUNTA DA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB/IFSUL

**Cinara Ourique do Nascimento**

COORDENADORA DA ESCOLA TÉCNICA ABERTA DO BRASIL – E-TEC/IFSUL

**Ricardo Lemos Sainz**

COORDENADOR ADJUNTO DA ESCOLA TÉCNICA ABERTA DO BRASIL – E-TEC/IFSUL

### **IF SUL-RIO-GRANDENSE**

#### **UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL**

**Beatriz Helena Zanotta Nunes**

COORDENADORA DA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB/IFSUL

**Marla Cristina da Silva Sopena**

COORDENADORA ADJUNTA DA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB/IFSUL

**Mauro Hallal dos Anjos**

GESTOR DE PRODUÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO

### **PROGRAMA DE FOMENTO AO USO DAS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO E INFORMAÇÃO NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO –TICS**

**Raquel Paiva Godinho**

GESTORA DO EDITAL DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO – TICS/IFSUL

**Ana M. Lucena Cardoso**

DESIGNER INSTRUCIONAL DO EDITAL TICS

**Lúcia Helena Gadret Rizzolo**

REVISORA DO EDITAL TICS

## **EQUIPE DE PRODUÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO – UAB/IFSUL**

**Lisiane Corrêa Gomes Silveira**  
GESTORA DA EQUIPE DE DESIGN

**Denise Zarnottz Knabach**  
**Felipe Rommel**  
**Helena Guimarães de Faria**  
**Lucas Quaresma Lopes**  
EQUIPE DE DESIGN

**Catiúcia Klug Schneider**  
GESTORA DE PRODUÇÃO DE VÍDEO

**Gladimir Pinto da Silva**  
PRODUTOR DE ÁUDIO E VÍDEO

**Marcus Freitas Neves**  
EDITOR DE VÍDEO

**João Eliézer Ribeiro Schaun**  
GESTOR DO AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM

**Giovani Portelinha Maia**  
GESTOR DE MANUTENÇÃO E SISTEMA DA INFORMAÇÃO

**Anderson Hubner da Costa Fonseca**  
**Carlo Camani Schneider**  
**Efrain Becker Bartz**  
**Jeferson de Oliveira Oliveira**  
**Mishell Ferreira Weber**  
EQUIPE DE PROGRAMAÇÃO PARA WEB



## SUMÁRIO



<b>GUIA DIDÁTICO</b>	<b>09</b>
<b>UNIDADE A - RESÍDUOS SÓLIDOS</b>	<b>13</b>
A.1 Definição de lixo e resíduos sólidos	15
A.2 Classificação dos resíduos sólidos	17
A.3 Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos	27
A.4 Características dos resíduos sólidos	39
<b>UNIDADE B - SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS</b>	<b>55</b>
B.1 Sistema de disposição final de resíduos sólidos	57
B.2 Aterro controlado	63
B.3 Aterro sanitário	65
B.4 Aterros Industriais	69
<b>UNIDADE C - PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO</b>	<b>73</b>
C.1 Sistemas de captação e unidades de apoio	75
C.2 Etapas de projeto de um aterro sanitário	85
C.3 Seleção de áreas para implantação de aterros	91
C.4 Projeto e implantação	119
C.5 Métodos construtivos do aterro sanitário	120
C.6 Projeto geométrico	128
<b>UNIDADE D - IMPERMEABILIZAÇÃO E DRENAGEM EM ATERROS</b>	<b>133</b>
D.1 Sistema de impermeabilização	135
D.2 Sistema de drenagem de águas pluviais	144
D.3 Sistemas de drenagem de percolados	147
D.4 Sistema de captação de gases de aterro	158
D.5 Equipamentos utilizados para extração do gás de aterro para fins energéticos	172
D.6 Queima do biogás	179
D.7 Métodos para a estimativa de geração gás	180
<b>UNIDADE E - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ATERROS</b>	<b>187</b>
E.1 Importância	189
E.2 Instalações de apoio	192
E.3 Controle das operações	193
E.4 Equipamentos e mão de obra	202
<b>UNIDADE F - MONITORAMENTO E ENCERRAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS</b>	<b>205</b>
F.1 Monitoramento ambiental	207
F.2 Monitoramento de biogás	214



# APRESENTAÇÃO

## Olá Aluno(a),

bem-vindo(a) ao espaço de estudo da Disciplina de Disposição Final de Resíduos.

Nesta disciplina, abordaremos questões relacionadas com os resíduos sólidos. Vamos aprender suas características, classificação e compreender as questões envolvidas no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

Abordaremos os sistemas de disposição final de resíduos e seus impactos no meio ambiente e também procuraremos entender o processo de disposição final de resíduos de forma adequada ambientalmente. Iremos também planejar, dimensionar, analisar as estruturas que integram um aterro sanitário, as operações e manutenções necessárias, além dos cuidados no monitoramento dessas áreas.

Esperamos que, através dos conteúdos e das atividades propostas, você possa estabelecer subsídios para compreender e atuar em projetos de aterros de resíduos sólidos urbanos e industriais, segundo as normas técnicas da ABNT utilizando técnicas viáveis fundamentadas em aspectos econômicos, sociais e ambientais.

**Bom trabalho!**

## Objetivos

### Objetivo Geral

Atuar na realização de projetos de aterros de resíduos sólidos urbanos e industriais segundo as normas da ABNT utilizando técnicas viáveis fundamentadas em aspectos econômicos, sociais e ambientais.

### Habilidades

- Identificar propriedades dos resíduos sólidos.
- Conhecer e estabelecer a classificação dos resíduos sólidos.
- Analisar e estimar as características dos resíduos sólidos.
- Compreender a importância das características dos resíduos no processo de disposição final.
- Identificar as formas de disposição final de resíduos e seus impactos no meio ambiente.
- Entender as características construtivas de um aterro sanitário.
- Perceber os aspectos positivos e negativos dos métodos de disposição.
- Identificar as estruturas que compõem um aterro sanitário.
- Compreender a importância dessas estruturas e sua finalidade.
- Conhecer as peculiaridades do aterro sanitário e do aterro industrial.
- Planejar o processo de seleção de área para aterros sanitários
- Atuar e planejar projetos de aterros sanitários.
- Compreender o dimensionamento de sistemas de drenagem de percolados e de gás metano.
- Entender os métodos de impermeabilização de aterros sanitários.
- Conhecer as rotinas de operação e de monitoramento de um aterro sanitário.

## Metodologia

A disciplina será desenvolvida em 40h, através do Ambiente Virtual de Aprendizado Moodle, onde serão disponibilizados materiais para subsidiar a aprendizagem.

Os recursos tecnológicos para interação serão os seguintes: Atividades, Trabalhos, Fórum e Chat de Dúvidas, E-mail, Textos, Exercícios on-line, Pesquisas e Execução de Cálculos.

## Avaliação

O rendimento dos alunos será avaliado através das atividades propostas no curso e por meio de instrumentos de avaliação que ocorrerão em encontros presenciais e de trabalhos entregues segundo o cronograma estabelecido previamente.

## Programação

### UNIDADE A – Resíduos sólidos

As atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Leitura do conteúdo A4 - Características dos resíduos sólidos (p.42)
2. Realização da atividade Jogo das características dos resíduos
3. Realização da atividade cálculo das características dos resíduos e resenha de um artigo que aborde as características dos resíduos sólidos apontando os aspectos positivos e negativo do trabalho em questão (p.56)

### UNIDADE B – Sistemas de disposição final de resíduos

As atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Visualização de uma série de vídeos sobre os desafios da disposição dos resíduos sólidos urbanos.
2. Leitura do material sistemas de disposição final (p.61)
3. Realização da atividade diferenças entre lixão e aterro sanitário (p.74)
4. Participação de Fórum discussão – Questão norteadora: Lixões e Aterros – impactos, vantagens e desvantagens

### UNIDADE C – Projeto e implantação de aterros sanitários

As atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Realização da atividade Sistemas de disposição final de resíduos (p.77)
2. Leitura do Material - Sistemas de captação e unidades de apoio. (p.77)
3. Realização da atividade Sistemas de Captação (p.92)

### UNIDADE C – Projeto e implantação de aterros sanitários

As atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Atividade Jogo: Aterro do Bill (p.93)
2. Leitura do conteúdo Seleção de áreas (p.93)
3. Leitura do Memorial de cálculo de área de aterro (p.94)
4. Realização da atividade cálculo de área de aterro (p.99)
5. Chat com o professor para sanar dúvidas em relação ao cálculo de área

## **UNIDADE C – Projeto e implantação de aterros sanitários**

As atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Realização da atividade inicial Escolha da área para aterros sanitários (p.101)
2. Leitura do conteúdo Critérios de seleção de área para aterro
3. Leitura do artigo “ Método para seleção de áreas para a disposição de Resíduos sólidos”
4. Realização da atividade Escolha da área para aterros sanitários utilizado os critérios abordados na unidade C332 (p.101)
5. Fórum sobre as questões técnicas, ambientais e socioeconômicas sobre os critérios locais

## **UNIDADE C – Projeto e implantação de aterros sanitários**

As atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Leitura do conteúdo Projeto e Métodos construtivos de aterros
2. Visualização das apresentações referentes aos métodos construtivos de aterros sanitários
3. Acesso ao trabalho de Júnior Castilhos (2003) sobre aterros de pequeno porte (p.121)
4. Realização do trabalho Cálculo da área e dimensões da célula . O aluno deverá obter informações referentes ao gerenciamento de resíduos de um município do Rio grande do sul com população superior a 50 mil habitantes e executar o cálculo da área necessária para o aterro do município em questão para uma vida útil de 20 anos e realizar o processo de seleção de áreas fictícias para a implantação do aterro. As orientações para a execução do trabalho serão disponibilizadas em um memorial descritivo. O município de cada aluno será determinado pelo professor da disciplina.
5. Participação do Chat com o professor tutor para sanar dúvidas em relação ao trabalho proposto

## **UNIDADE D – Sistema de impermeabilização e drenagem de aterros**

Atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Realização da atividade Sistemas de impermeabilização (p.131)
2. Leitura do conteúdo sistemas de impermeabilização de aterros
3. Visualização das apresentações sobre os tipos de geomembranas e as etapas da impermeabilização em aterros
4. Realização da atividade vazão de percolados. O aluno deverá estimar a geração de percolado mensal para o município de Pelotas utilizando o método Racional e o Suíço e deverão realizar uma análise comparativa dos métodos utilizados
5. Participação do Chat com o professor tutor para sanar dúvidas em relação ao trabalho proposto

## **UNIDADE D – Sistema de impermeabilização e drenagem de aterros**

Atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Leitura do artigo “Considerações sobre aproveitamento do Biogás em Aterro Sanitário”
2. Leitura do conteúdo Sistemas de captação de gases de aterro
3. Realização da atividade Gás metano (p.169)
4. Participação de Fórum Questão norteadora – O uso do gás de aterro para geração energética e um exemplo de sustentabilidade?

## **UNIDADE E – Operação e manutenção de aterros**

Atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Realização da atividade operações em aterros sanitários (p.185)
2. Leitura do conteúdo Operação e manutenção de aterros
3. Visualização de vídeos sobre as operações e rotinas em aterros
4. Visualização da apresentação Equipamentos para operações em aterros
5. Leitura do Manual de operações em aterro disponível na biblioteca virtual
6. Leitura do Material disponível no arquivo RESUMO

## UNIDADE F – Monitoramento ambiental e encerramento do aterro

Atividades a serem desenvolvidas nessa unidade são:

1. Leitura do artigo Monitoramento ambiental do aterro re resíduos sólidos da Muribeca - PE
2. Leitura de texto sobre monitoramento em aterros disponibilizado pelo professor
3. Participação de Fórum – A importância do monitoramento e usos futuros de aterros sanitários

## Currículo do Professor-Autor

### Jocelito Saccol de Sá

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas (1999), Mestrado em IRRIGAÇÃO E DRENAGEM pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (2002) e Doutorado em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (2006). Atualmente é professor de ensino superior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense e Coordenador pedagógico do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Rural. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Saneamento, Recursos Hídricos, Irrigação, Drenagem e Hidráulica.

<<http://lattes.cnpq.br/1584664621921256>>

## Referências

- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas & Compromisso Empresarial para Reciclagem. IPT & CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento**. São Paulo. 1995
- LIMA, L.M.Q. **LIXO: tratamento e biorremediação**. 3 ed. São Paulo: HEMUS, 1995
- MIRANDA, L. L. **O que é lixo**. São Paulo: Brasiliense, 1995
- MILLER, J.R. ; Tyler, G. **Ciência Ambiental** . São Paulo: Cengage Learning , 2007.
- PONTIN , J.A. ; SCARLATO , F.C. ; **Do nicho ao lixo : Ambiente, sociedade e educação** . São Paulo: Atual , 1992
- ROCCA, A.C.C et al. **Resíduos Sólidos Industriais**. São Paulo: CETESB, 1993

**TICS**

**A**

## **Resíduos sólidos**

**Unidade A**  
**Disposição Final de Resíduos**



# 1. DEFINIÇÃO DE LIXO E RESÍDUOS SÓLIDOS

## Cenas do nosso Dia-a-dia

*Antes de sair para o trabalho, damos uma arrumada na casa. Recolhemos o lixo do banheiro, jogamos o jornal do dia anterior, rasgamos alguns papéis, juntamos as sobras de uma reuniãozinha da noite anterior e entramos na cozinha para fazer o café. Terminada essa refeição, sobram migalhas de pão, a caixa do leite, o coador de papel, as cascas de frutas, o potinho de iogurte. Juntamos tudo isso num saco plástico, amarramos e colocamos num lugar de onde possa ser levado para longe dali. E assim tem início diariamente uma enorme produção de lixo domiciliar, que só termina quando as luzes se apagam.*

CETESB, *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2007*, São Paulo: CETESB.

Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

Em nossas atividades diárias geramos resíduos mesmo sem perceber e que apresentam elevado potencial poluidor ao meio ambiente.

Você já pensou na quantidade de resíduo gerado no seu dia a dia, em quanto tempo esses resíduos levarão para se decompor, para onde irão, posteriormente, depois de coletados pelo município e você pode afirmar que a destinação final dos resíduos no seu município é adequada ambientalmente?

Certamente, você já tem a resposta para alguma dessas perguntas, outras vamos procurar juntos responder ao longo da disciplina de Disposição final. Portanto, vamos começar pelo princípio respondendo a seguinte questão: o que é lixo?



Vídeo

<<http://www2.camara.gov.br/tv/materias/FOCO/166649-LIXO-E-DINHEIRO.html>>

## O que é lixo?

De uma forma generalista, o lixo pode ser definido como resíduo proveniente das mais diversas atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis.

### Saiba Mais

A etimologia da palavra lixo é derivada do termo latim *lix* e significa “cinza” e recebe a interpretação de sujeira, imundície, coisa inúteis e sem valor.

De acordo com o Dicionário de Aurélio Buarque de Holanda (2000), “lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor, sujeira, imundície.”

Lixo é um conjunto heterogêneo de elementos desprezados durante um dado processo e, pela forma como é tratado, assume um caráter **depreciativo**, sendo associado à sujeira, repugnância, pobreza, falta

de educação e outras conotações negativas.

Você já parou pra pensar que muito do que jogamos fora e consideramos sem valor pode ser aproveitado por outras pessoas?

*Atualmente, esse conceito vem sendo revisado ou complementado tendo em vista a agregação de novos conhecimentos sobre a utilidade do lixo e o uso cada vez maior de práticas como a reciclagem, compostagem, geração de energia e proteção do meio-ambiente. Dessa forma, o conceito de “lixo” como substâncias imprestáveis e sem valor deve ser modificado para o de resíduos sólidos – substâncias passíveis de serem reaproveitadas.*

Fonte: <<http://www.webartigos.com/articles/10708/1/A-Problematica-do-Lixo/pagina1.html#ixzz1lfs380d5>>

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT por meio da NBR 10.004 (2004) define os resíduos sólidos como resíduos em estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Incluindo nesta definição os lodos gerados por sistemas de tratamento de água, sistemas de controle de poluição, sistemas de tratamento de esgoto, e líquidos, cujas características tornem inviável o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

## Saiba Mais

NBR: Norma Brasileira. ABNT: fundada em 1940, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro. É uma entidade privada, sem fins lucrativos, reconhecida como único Foro Nacional de Normalização.

Já o artigo 3º da Política Nacional de resíduos sólidos (LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.) define resíduos sólidos como:

*“... material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;”*

O mesmo artigo definiu rejeito como “..resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;”

## Leitura

Consulte a Política Nacional de Resíduos sólidos e também pesquise a legislação do seu município em relação aos resíduos sólidos.

## 2. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

São várias as maneiras de se classificar os resíduos sólidos. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem. Porém, na literatura são encontradas outras formas de classificação dos resíduos que levam em consideração a umidade, o tempo de biodegradabilidade e a natureza química.

### Classificação dos resíduos em relação à umidade

Em relação à umidade os resíduos podem ser considerados:

- **Secos** – papel, papelão, metal etc..
- **Úmidos** – restos de alimentos, erva-mate, lodo de esgoto etc..

### Classificação dos resíduos em relação à natureza química

- **Orgânico** – papel, poda de árvores, penas, ossos etc..
- **Inorgânico** - plástico, sucata, circuitos eletrônicos etc..

### Classificação dos resíduos em relação à biodegradabilidade

- **Facilmente biodegradável:** matéria orgânica putrescível.
- **Moderadamente biodegradável:** papel, papelão e outros materiais celulósicos.
- **Difícilmente biodegradável:** madeira, trapos, couro, borracha.
- **Muito dificilmente biodegradável:** plástico.
- **Não-Biodegradável:** vidro, metais, rochas e solo.

### Saiba Mais

O tempo de permanência dos resíduos no meio ambiente está relacionado com a biodegradabilidade e o meio onde a matéria encontra-se. Existem várias tabelas com essa informação. Acesse:

[http://www.lixo.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=146&Itemid=252](http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=146&Itemid=252)  
para visualizar um exemplo.

### Parada Obrigatória

Teste seus conhecimentos. Acerte o tempo de permanência dos resíduos no meio ambiente. Acesse:

<http://objetoseduacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/2989/QuantoTempoViveUmLixo.swf?sequence=1>

### Classificação dos resíduos em relação à origem

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo esse critério, os diferentes tipos de resíduos podem ser lixo agrupados da seguinte forma:

### **Resíduo doméstico ou residencial**

Resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais, constituído por matéria orgânica (como, cascas de frutas, verduras etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros resíduos que podem apresentar elevada toxicidade.

Nessa categoria podem-se classificar pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneus e inseticidas como resíduos domésticos especiais.

### **Resíduo Comercial**

É originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc.. O lixo desses locais tem grande quantidade de papel, plásticos, embalagens diversas e resíduos de asseio dos funcionários, tais como, papéis toalha, papel higiênico etc.

Nas atividades de limpeza urbana, os tipos “doméstico” e “comercial” constituem o chamado “lixo domiciliar”, que, junto com o lixo público, representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades.

### **Resíduo público**

É originado dos serviços de limpeza pública urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos e de terrenos, restos de podas de árvores, corpos de animais, etc.; de limpeza de áreas de feiras livres, constituídos por restos vegetais diversos, embalagens etc. e aqueles descartados indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

### **Resíduo industrial**

É originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como, metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia, etc.. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas, etc.. Adota-se a NBR 10.004 da ABNT para se classificar os resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II A (Não-Inertes) e Classe II B (Inertes).

### **Resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários**

Constituem os resíduos sépticos, que podem conter organismos patogênicos, tais como: materiais de higiene e de asseio pessoal, restos de alimentos, etc., e, ainda, veicular doenças de outras cidades, estados e países.

Resíduos gerados tanto nos terminais, como dentro dos navios, aviões e veículos de transporte. Os resíduos dos portos e aeroportos são decorrentes do consumo de passageiros em veículos e aeronaves e sua periculosidade está no risco de transmissão de doenças já erradicadas no país. A transmissão também pode ocorrer por meio de cargas eventualmente contaminadas, tais como animais carnes e plantas.

### **Resíduos Agrícolas**

São resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc.. Em várias regiões do mundo, esses resíduos já constituem uma

preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva. Também as embalagens de agroquímicos diversos, em geral altamente tóxicos, têm sido alvo de legislação específica, definindo os cuidados na sua destinação.

### Resíduos de serviços de saúde

Resíduo de serviço de saúde é todo aquele gerado por prestadores de assistência médica, odontológica, laboratorial, farmacêutica, instituições de ensino e pesquisa médica, relacionados à população humana, bem como veterinário. Possui potencial de risco, em função da presença de materiais biológicos capazes de causar infecção, produtos químicos perigosos, objetos perfuro-cortantes efetiva ou potencialmente contaminados e mesmo rejeitos radioativos, necessitando de cuidados específicos de acondicionamento, transporte, armazenagem, coleta e tratamento”. MOREL (1991)<sup>1</sup>

Os resíduos de serviço de saúde possuem legislações e resoluções específicas. A classificação, segundo a ANVISA, é dada no apêndice I da RDC 306/2004 e é apresentada a seguir:

- **Grupo A** – resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção. Exemplos de resíduos desse grupo: culturas e estoques de microrganismos; bolsas transfusionais, contendo sangue; sobras de amostras de laboratório; carcaças, peças anatômicas, vísceras; Peças anatômicas são órgãos e tecidos e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos.
- **Grupo B** – resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Resíduos de saneantes, desinfetantes, desinfestantes; resíduos contendo metais pesados; reagentes para laboratório, inclusive os recipientes contaminados por estes. Efluentes de processadores de imagem (reveladores e fixadores); efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas.
- **Grupo C** – quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados nas normas do CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.
- **Grupo D** – resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares. Papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, peças descartáveis de vestuário, resto alimentar de paciente, material utilizado em antisepsia e hemostasia de venóclises, equipo de soro e outros similares não classificados como A1; sobras de alimentos e do preparo de alimentos etc..

Para saber mais acesse o site <[www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br) e consulte a resolução RDC 306 de 7 de dez. de 2004>.

### Resíduos da construção civil

Os resíduos sólidos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras e resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, cerâmicas, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeira, argamassa, gesso, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas, comumente chamadas de entulho de obras.

O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento, porém, geralmente contém uma vasta gama de materiais que podem lhe conferir toxicidade, com destaque para os restos de tintas e de solventes, peças de amianto e metais diversos, cujos componentes podem ser remobilizados, caso o material não seja disposto adequadamente.

1 MOREL, M. M. O. Classificação dos resíduos de serviços de saúde. In : Seminário Alternativas de Gerenciamento de Lixo Hospitalar. Rio de Janeiro : COMURB,1991. 15 p.

Os resíduos da construção civil podem ser classificados em classes: A, B, C e D (CONAMA nº 307, BRASIL, 2002).

- **Classe A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
  - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.
  - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.
  - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
- **Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
- **Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.
- **Classe D** - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

### Saiba Mais

Para maiores detalhes consulte a Resolução do CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002 no site [www.conama.gov.br](http://www.conama.gov.br)

### Resíduo radioativo

Assim considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo estão a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

### Atenção

Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, de acordo com a NBR 10.004 (2004) da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

#### Resíduos Classe I - Perigosos

São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública, através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

#### Resíduos Classe II – Não Perigosos

a) Resíduos classe II A - Não-inertes

São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe III – Inertes.

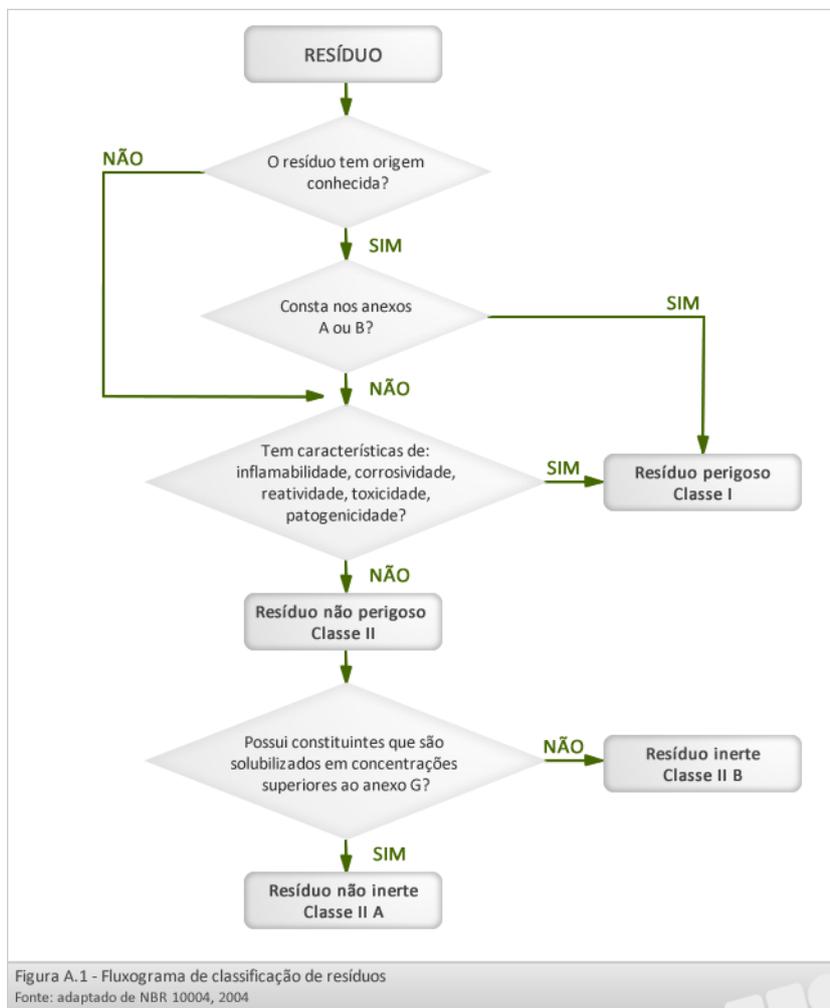
b) Resíduos classe II B - Inertes

São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da NBR 10.004).

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de

seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem. A Figura A.1 ilustra a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente.



## Saiba Mais

Para saber mais consulte a NBR 10.004 na biblioteca do Campus Pelotas

## Síntese

Nessa semana você aprendeu:

- As definições de lixo
- Diferença entre lixo e resíduo sólido
- As formas de classificação dos resíduos sólidos
- Umidade
- Natureza química
- Biodegradabilidade
- Origem e
- Leu sobre a NBR 10004, que classifica os resíduos sólidos em função da periculosidade,

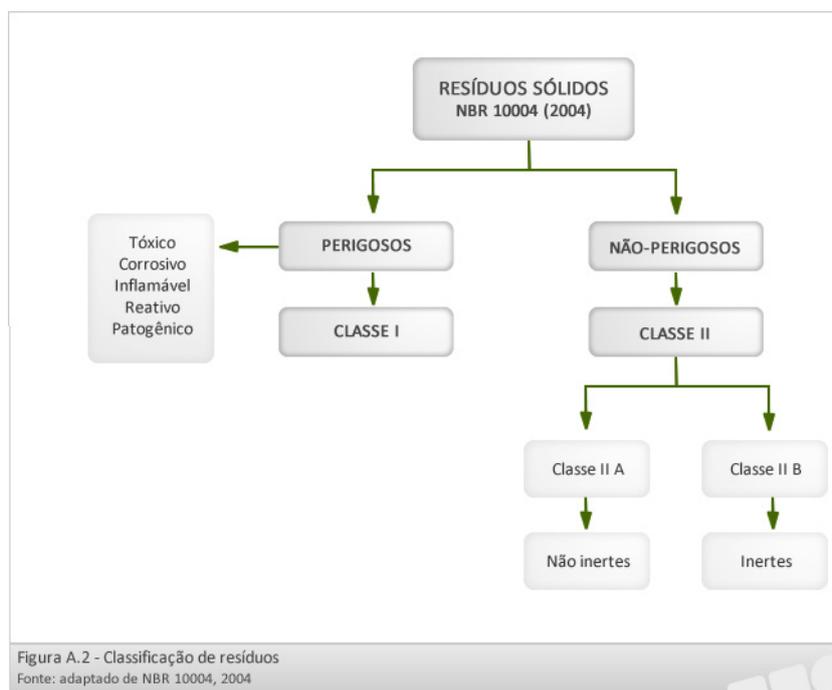
No quadro abaixo você tem um resumo dos principais pontos da NBR 10004 (2004)

Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade (NBR10.004)		
Categoria		Característica
Classe I	Perigosos	Apresentam risco à saúde pública ou ao ambiente, caracterizando-se por inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Classe II A	Não-inertes	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém, não se enquadram como resíduo classe I ou II B.
Classe II B	Inertes	São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da NBR 10.004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Não têm constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas.

Tabela A1: classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade  
Fonte: NBR 2004

Sistema Universidade Aberta do Brasil - UAB | IF Sul-rio-grandense

A figura A.2 mostra de maneira sucinta a classificação de resíduos de acordo com NBR 10004.



## Parada obrigatória

Agora você poderá realizar a atividade classificação dos resíduos sólidos. Bom trabalho!

UNIDADE

# A

## Atividade - Classificação dos resíduos sólidos

Agora que você já leu sobre as diferentes maneiras de classificar os resíduos sólidos, classifique os resíduos gerados no meio urbano que aparecem abaixo. Em seguida, faça uma análise da forma de classificação mais adequada no seu ponto de vista.

### Restos de alimentos



Figura A.3 - Restos de alimentos  
Fonte: do autor

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Plásticos



Figura A.4 - Plásticos  
Fonte: do autor

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Pilhas



Figura A.5 - Pilhas  
Fonte: do autor

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## UNIDADE

## A

### 3. GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos é, em síntese, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar as atividades relativas ao gerenciamento dos RSU.

Portanto, gerenciar os resíduos de forma integrada significa coletar e transportar os resíduos adequadamente e tratá-los utilizando as tecnologias mais compatíveis com a realidade local, dando-lhe um destino final ambiental seguro, tanto no presente, como no futuro.

Para municípios de pequeno porte observa-se muitas vezes uma organização hierárquica construída com base no princípio da especialização funcional, no qual a cadeia de comando flui do topo para a base da organização, como ilustrado pela Figura A.13.



No gerenciamento integrado de resíduos deve-se considerar as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos - para a eles ser dado tratamento diferenciado e disposição final técnica e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais.

De acordo com a situação do município, uma série de ações devem ser planejadas com o intuito de atingir estas metas, ações que devem ser executadas de maneira **integrada**. Estas ações devem ser:

1. Coletar todos os resíduos gerados;
2. Dar um destino final adequado para o resíduo coletado;
3. Buscar formas de segregação e tratamento para o resíduo;
4. Fazer campanhas e implantar programas voltados à sensibilização e conscientização da população no sentido de manter a limpeza da cidade;
5. Incentivar medidas que visem diminuir a geração de resíduo;

## Plano de gerenciamento integrado de resíduos

O Plano de gerenciamento é um documento que apresenta a situação atual do sistema de limpeza urbana, com a pré-seleção das alternativas mais viáveis, com o estabelecimento de ações integradas e diretrizes sob os aspectos ambientais, econômicos, financeiros, administrativos, técnicos, sociais e legais para todas as fases do gerenciamento dos resíduos sólidos, desde a sua geração até a destinação final (Mesquita, 2007).

O Plano tem como objetivo implementar condições para o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos nos municípios e terá como princípios: a minimização da geração, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final adequadas. Deverá ser elaborado em duas fases distintas: o diagnóstico da situação atual dos serviços e as propostas selecionadas ou já definidas, abordando as etapas de limpeza, coleta, transporte, tratamento e disposição final.

As ações e operações envolvidas no gerenciamento estão interligadas, influenciando umas as outras:

- Coleta mal planejada encarece o transporte;
- Transporte mal dimensionado, gerar prejuízos e reclamações, prejudica as forma de tratamento e torna-se alvo de críticas.

No plano de gerenciamento de resíduos são estipuladas as responsabilidades dos geradores e suas funções na gestão dos resíduos sólidos. A Tabela A1 apresenta os tipos de resíduos quanto sua origem e os responsáveis pelo seu gerenciamento.

Tipos de Resíduos	Responsável
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura
Público	Prefeitura
Serviços de Saúde	Gerador (hospitais, etc.)
Industrial	Gerador (indústrias)
Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Gerador (portos, etc.)
Agrícola	Gerador (agrícola)
Entulho	Gerador

Tabela A1: Responsabilidade pelos resíduos

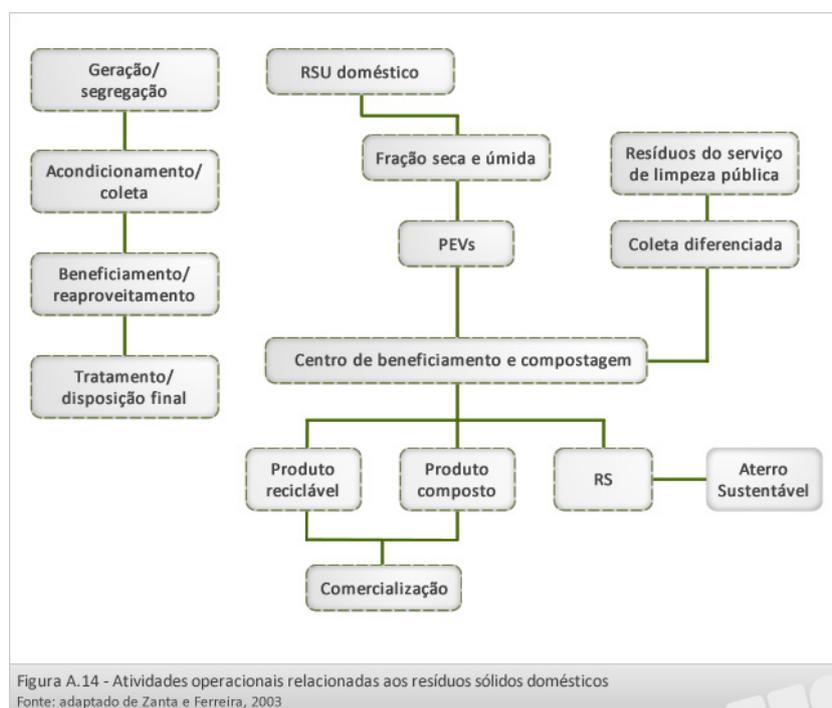
Fonte: JARDIM, 1995.

## Etapas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbano

O plano de gerenciamento contempla as seguintes etapas:

- segregação
- acondicionamento
- coleta e transporte;
- estação transferência ou transbordo
- tratamento
- disposição final

A figura A.14 ilustra um exemplo de fluxograma das etapas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos:



## Acondicionamento

A qualidade da operação de coleta e transporte de lixo depende da forma adequada do seu acondicionamento, armazenamento e da disposição dos recipientes no local, dia e horários estabelecidos pelo órgão de limpeza urbana para a coleta.

A importância do acondicionamento adequado está em:

- evitar acidentes.
- evitar a proliferação de vetores.
- minimizar o impacto visual e olfativo.
- reduzir a heterogeneidade dos resíduos.
- facilitar a realização da etapa da coleta.

Formas de acondicionamento de resíduos:

- vasilhames metálicos (latas) ou plásticos (baldes);
- sacos plásticos de supermercados ou especiais para lixo;
- caixotes de madeira ou papelão;
- latões de óleo, algumas vezes cortados ao meio;
- contêineres metálicos ou plásticos, estacionários ou sobre rodas;
- embalagens feitas de pneus velhos.

## Coleta

Os resíduos sólidos precisam ser transportados mecanicamente do ponto de geração ou armazenamento até seu destino final. Esse serviço caracteriza-se pelo envolvimento dos geradores, que devem acondicionar os resíduos adequadamente e apresentá-lo em dias, locais e horários pré-estabelecidos.

De um modo geral a coleta e transporte devem garantir os seguintes requisitos:

a universalidade do serviço prestado.

regularidade da coleta (periodicidade, frequência e horário).

- **Periodicidade:** os resíduos sólidos devem ser recolhidos em períodos regulares. A irregularidade faz com que a coleta deixe de ter sentido sob o ponto de vista sanitário e passe a desestimular a dona-de-casa;
- **Frequência:** é o intervalo entre uma coleta e a seguinte, e deve ser o mais curto possível. Em nosso clima, aconselha-se coleta diária, sendo aceitável fazê-la em dias alternados; a frequência de coleta dependerá dos parâmetros estabelecidos para a execução e disponibilidade de equipamento.
- **Horário:** usualmente a coleta é feita durante o dia. No entanto, a coleta noturna se mostra mais viável em áreas comerciais e outros locais de intenso tráfego de pessoas e de veículos

## Saiba mais

Os serviços de limpeza absorvem entre 7 a 15% dos recursos do orçamento municipal, Cerca de 50% se destina a coleta e ao transporte dos resíduos sólidos.

## Unidade de transferência ou Transbordo

É uma Instalação que possibilita a remoção ou o transbordo dos resíduos recolhidos por veículos de pequeno porte para outro meio de transporte de maior capacidade e que possa vencer grandes distâncias, com uma menor ocupação de mão de obra.

As estações de transferência são geralmente utilizadas em médios e grandes centros urbanos, quando o local de disposição está distante do centro de geração e surgem problemas como:

- atraso nos roteiros de coleta
- aumento do tempo de exposição do lixo nos logradouros
- redução da produtividade dos veículos de coleta que são caminhões caros
- aumento do tempo improdutivo da guarnição de trabalhadores

Porém, com a dificuldade encontrada em pequenos municípios em dispor adequadamente os resíduos sólidos, tornou-se viável o envio de resíduos para aterros localizados em outros municípios ou aterros privados e as estações de transferência começam a ganhar espaço.

As estações de transferência podem ser uma simples plataforma elevada, dotada de uma rampa de acesso, ou a um edifício sofisticado e de grandes dimensões como pode ser observado nas Figura A.15.



## Vantagens das estações de transferência

- Redução do tempo ocioso do serviço de coleta (o veículo coletor e a mão de obra são utilizados exclusivamente na coleta).
- Possibilidade de término de serviço mais cedo (o lixo permanece um tempo mais curto na via pública).
- Possibilidade de maior flexibilidade na programação de coleta (por exemplo, utilização de veículo de menor capacidade com sua facilidade de manobra e sem o compromisso de transporte do lixo que é mais oneroso quando se usam esses veículos).

As estações também podem servir como centro de distribuição de resíduos destinando-se frações para aterros ou para estações de tratamento. A triagem pode ser feita nesses locais, porém, o mais comum é se fazer isso em usinas de reciclagem ou compostagem.

## Classificação

As estações de transferências podem ser classificadas:

- a) quanto ao modo de armazenagem.
- b) quanto ao tratamento físico prévio.
- c) quanto ao meio de transporte (após transferência).

## Quanto ao modo de armazenagem

- Estações sem armazenamento:  
Requer uma quantidade maior de veículos de transferência para absorver os chamados picos de vazamento. Essa modalidade também apresenta o maior custo operacional (Figura A.16).



- Estações com armazenagem  
São espaços físicos para armazenagem temporária dos resíduos. Requer uma quantidade menor de veículos de transferência e têm capacidade de absorver os chamados picos de vazamento e apresentam o menor custo operacional, mas têm o maior custo de implantação. Na Figura A.17 é apresentado um transbordo com armazenagem localizado em Porto Alegre, RS.



Figura A.17 - Transbordo com rmacenamento temporário - Porto Alegre (RS)  
Fonte: acervo pessoal (2008)

### **Quanto ao tratamento físico prévio:**

**Sem redução de volume:** sem compactadores próprios. Fazem a transferência para veículos, sem dispositivos de compressão e veículos especiais com dispositivos de compressão. Constituem-se em dois planos com desnível suficiente para que o veículo de coleta possa descarregar o lixo em outro tipo de transporte. É o meio mais simples e barato.

**Com redução de volume:** subdividem-se em três tipos:

- a) **Com compactadores estacionários:** o lixo é descarregado em um carregador sobre o compactador estacionário. No compactador o lixo será prensado para dentro de containers de grande capacidade. Para completar esse serviço, a estação pode dispor de um silo de armazenamento de lixo, antes do carregador. Isto diminui os problemas de picos de chegada de lixo.
- b) **Com autocompactação:** é uma instalação semelhante a das estações sem redução de volume. A diferença é que o próprio veículo de transporte a longa distância realiza a compactação, por meio de uma placa, ou por um sistema de parafuso sem fim, com pás helicoidais.
- c) **Com moinho:** a instalação possui um moinho de grandes dimensões que tritura o lixo. É o sistema menos utilizado, principalmente, por causa do alto custo de manutenção do equipamento.

### **Quanto ao meio de transporte (após transferência.):**

- **FERROVIÁRIO:** indicado para longas distâncias necessita de sistema rodoviário complementar.
- **MARÍTIMO:** indicado para longas distâncias, ótima opção para municípios que contam com rios ou baías navegáveis, necessita de sistema rodoviária complementar.
- **RODOVIÁRIO:** Recomendável para distância médias de transporte e para locais que não tenham o sistema de tráfego saturado.

## **Saiba mais**

Pesquise no *YouTube* vídeos com o termo Solid Waste Transfer Station e observe a operação de transferência de resíduos em estações de transbordo de resíduos sólidos em países como EUA, Canadá e China

## Tratamento

O tratamento do lixo pode ser feito por dois processos: segregar os diferentes tipos de materiais existentes no lixo visando a sua reciclagem e conseqüente redução de resíduos aterrados, ou incinerar visando a sua redução e inertização, se possível com recuperação de energia.

### Incineração

Conforme Philippi Júnior (2005), incineração é um processo de redução de peso e volume dos resíduos por intermédio de queima controlada. Os resíduos são reduzidos a cinzas, que representam de 5% a 15% do peso inicial. Por destruir agentes patogênicos e diversos compostos químicos tóxicos, é comumente utilizado para tratamento de resíduos de serviços de saúde. Na Figura A.18 é apresentada uma unidade de incineração de resíduos de serviços de saúde.



Figura A.18 - Unidade de incineração de resíduos de serviços de saúde - Caxias do Sul (RS)  
Fonte: acervo pessoal, 2007

A seguir serão apresentadas algumas vantagens e desvantagens da incineração segundo Jardim, et al.(1995):

#### Vantagens:

- Redução drástica do volume a ser descartado: a incineração deixa como sobra apenas as cinzas, que geralmente são inertes. Desta forma, reduz a necessidade de espaço para aterro.
- Redução do impacto ambiental: em comparação com o aterro sanitário, a incineração minimiza a preocupação a longo prazo com o monitoramento do lençol freático, já que o resíduo tóxico é destruído, e não “guardado”.
- Destoxificação: a incineração destrói bactérias, vírus e compostos orgânicos, como o tetracloreto de carbono e óleo ascarel e, até, dioxinas. Na incineração, a dificuldade de destruição não depende da periculosidade do resíduo, e sim de sua estabilidade do calor.
- Recuperação de energia: parte da energia consumida pode ser recuperada para geração de vapor ou eletricidade.

#### Desvantagens:

- Custo elevado: apresenta custos elevados tanto no investimento inicial, quanto no operacional. Normalmente, deve-se incinerar apenas o que não pode ser reciclado.
- Exige mão-de-obra qualificada: é difícil encontrar e manter pessoal bem qualificado para supervisão e operação de incineradores.
- Problemas operacionais: a variabilidade da composição dos resíduos pode resultar em problemas de manuseio de resíduo e operação do incinerador e, também, exigir manutenção mais intensa.
- Limite de emissões de componentes da classe das dioxinas e furanos: não existe consenso quanto ao limite de emissão dos incineradores.

## Compostagem

É um processo biológico no qual a matéria orgânica é convertida pela ação de microorganismos, em composto orgânico. Como vantagem, a compostagem apresenta economia de aterro, aproveitamento agrícola, reciclagem de nutrientes para o solo e eliminação de patógenos.

É importante observar alguns fatores que influenciam a compostagem como: aeração, umidade, temperatura, nutrientes e pH.

No final da compostagem se obtém o composto orgânico que tem como principais características a presença de húmus e de nutrientes minerais, podendo ser utilizado em qualquer tipo de cultura associado ou não a fertilizantes químicos. Se produzido em uma unidade de compostagem, o composto deve ser regularmente submetido a análises físico-químicas de forma a assegurar o padrão mínimo de qualidade estabelecido pelo governo. A Figura A.19 mostra leiras de compostagem de matéria orgânica de Porto Alegre, RS.



Figura A.19 - Leiras de compostagem - Porto Alegre (RS)  
Fonte: acervo pessoal, 2009

## Reciclagem

Para Jardim, et al. (1995), reciclagem é o resultado de uma série de atividades através da qual materiais que se tornariam rejeito, são desviados, sendo coletados, separados e processados para serem utilizados novamente como matéria-prima. Este processo diminui a quantidade de lixo a ser aterrado (consequentemente aumenta a vida útil dos aterros sanitários); preserva recursos naturais; economiza energia; e gera empregos, através da criação de indústrias recicladoras.

O tipo de material reciclável a ser separado nas unidades de reciclagem depende, sobretudo, da demanda da indústria. Os principais são: papel e papelão; plástico duro; plástico filme; garrafas inteiras; vidro; metal ferroso e metal não-ferroso. (MONTEIRO et al., 2001). A Figuras A.20 mostra o processo de triagem e reciclagem de resíduos.



Existem outros métodos de tratamento de resíduos além dos mencionados como a pirólise e a autoclavagem.

### Saiba mais

Para saber mais sobre as etapas do gerenciamento integrado de resíduos urbanos leia a Cartilha da limpeza pública. Acesse: <[https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/A4cartilha\\_limpeza\\_urb.pdf](https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/A4cartilha_limpeza_urb.pdf)>

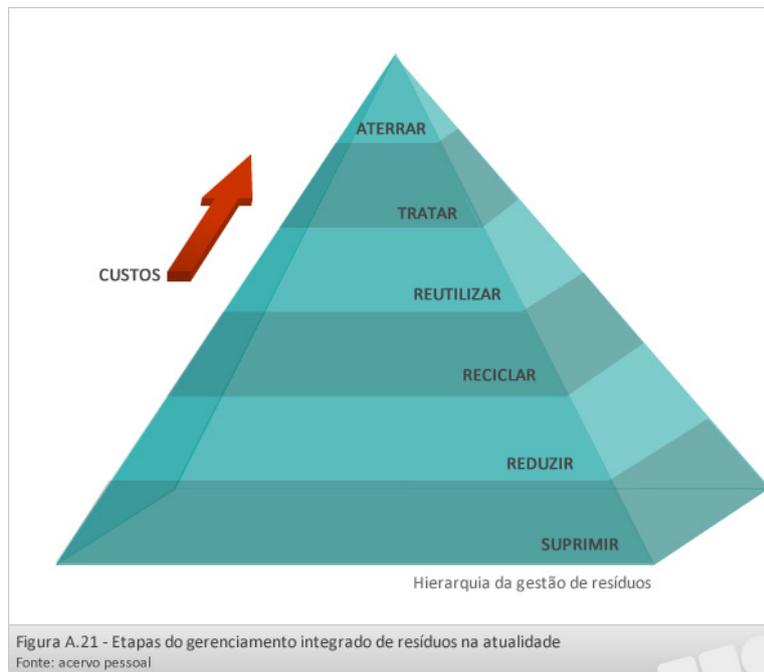
Com relação à escolha da tecnologia a ser adotada, deve-se levar em conta o custo, pois quanto maior o nível de sofisticação de equipamentos, maiores serão os investimentos iniciais e as despesas com manutenção. Em países com déficit de empregos, por exemplo, é recomendável o emprego de intensa mão de obra, como nas usinas que adotaram a separação manual dos materiais (PHILIPPI JÚNIOR, 2005).

## Resumo

As soluções encontradas para gerenciar e tratar os resíduos sólidos adequadamente obedecem a uma sequência lógica e natural, expressa pelas seguintes providências:

1. Minimização da geração de resíduos através de modificações no processo produtivo, ou pela adoção de tecnologias limpas, mais modernas e que permitem, em alguns casos, eliminar completamente a geração de materiais nocivos.
2. Reprocessamento dos resíduos gerados, transformando-os novamente em matérias-primas, ou utilizando-os para gerar energia.
3. Reutilização dos resíduos gerados por uma indústria como matéria-prima para outra indústria.
4. Separação de substâncias nocivas das não nocivas, reduzindo o volume total de resíduo que deva ser tratado ou disposto de forma controlada.
5. Processamento físico, químico ou biológico do resíduo, de forma a torná-lo menos perigoso ou até inerte, possibilitando sua utilização como material reciclável.
6. Incineração, com o correspondente tratamento dos gases gerados e a disposição adequada das cinzas resultantes.
7. Disposição dos resíduos em locais apropriados, projetados e monitorados de forma a assegurar que não venham no futuro a contaminar o meio ambiente.

Percebe-se que essas soluções, na sequência em que estão apresentadas, decrescem em eficiência, pois partem de um conceito de eliminação do problema (o de evitar a geração do resíduo) e terminaram na disposição vigiada do problema não solucionado (isto é, em um aterro ou uma lagoa). A figura A.21 sintetiza essa sequência e mostram que, embora de complexidade crescente em sua aplicação, essas soluções acarretam custos globais decrescentes para a sociedade e contribuições mais eficazes para solucionar os problemas ambientais.



## Tabela Resumo

Tratamento	Tipos de resíduos	Vantagens	Desvantagens
Reciclagem	Papel, plásticos, papelão, vidros, metais e resíduos da construção civil.	Redução de recursos naturais, energia e água. Pode ser rentável; diminui o volume de resíduos; pode gerar empregos e renda, entre outros.	Pode não haver mercado consumidor para o composto; pode haver emissão de maus odores; quando não monitorado, o composto pode promover riscos à saúde do homem, animais e plantas.
Compostagem	Orgânicos como resto de comida, verduras e frutas; Lodo de estações de tratamento de esgoto	Redução de resíduos enviados aos aterros; utilização do composto na agricultura, jardins, etc.; pode ser feita na própria residência.	
Incineração	Resíduos perigosos como ácidos, óleos, materiais químicos, etc.; Resíduos dos serviços da saúde.	Diminuição considerável do volume e do peso dos resíduos; aumento da vida útil de aterros; riscos de poluição atmosférica; alto custo de operação e instalação.	
Aterro sanitário	Qualquer tipo de resíduo, com exceção dos radioativos	Pode ser empregada a maioria dos resíduos sólidos; comporta, por um período determinado, grandes volumes de resíduos.	Demanda grandes áreas para sua instalação; os subprodutos gerados, biogás, lixiviados são altamente poluidores, merecendo tratamento muitas vezes caro.

Tabela A2: resumo sobre gerenciamento de resíduos  
Fonte: do autor

## Referências

- JARDIM, N.S. et al. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995. 278p.
- MESQUITA, J. M. et al. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos na Amazônia: a metodologia e os resultados de sua aplicação**, Rio de Janeiro: MMA/IBAM, 2001. Disponível em: <[http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/girs\\_amazonia\\_1.pdf](http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/girs_amazonia_1.pdf)> Acessado em abril de 2007.
- PHILIPPI JÚNIOR, A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 842p.
- ZANTA, V.M.; FERREIRA, C.F.A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. In: **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. CASTILHOS Jr., A.B. (Coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003, 280p.

## Atividade - Lixo: um problema do século XXI

### Conceitos a serem trabalhados:

- Lixo domiciliar
- Coleta seletiva
- Propriedades da matéria
- Ação do lixo sobre o ecossistema
- Reciclagem do lixo
- Lixo biodegradável e não biodegradável

### Procedimentos:

1. Separar previamente sacos ou sacolas plásticas para colocar o resíduo gerado diariamente, devidamente identificados e etiquetados pelo tipo de material: matéria orgânica, vidro, metal, plástico, papel e outros.
2. Orientar todas as pessoas da casa sobre a importância do trabalho e para que joguem os resíduos nos respectivos recipientes.
3. À noite, fechá-los e pesá-los (se possuir balança!) ou estimar o volume de cada saco ou sacola.
4. Anotar o valor (peso ou volume) de cada recipiente na primeira linha da tabela (abaixo) e posteriormente proceder com a disposição dos resíduos.
5. Indicar, a cada dia, a origem do resíduo mais abundante. Por exemplo: plástico: garrafa de refrigerante ou embalagem de metal: latas de vidro, refrigerante, material de limpeza etc...
6. Repetir o mesmo procedimento todos os dias, até terminar o período de análise (7 dias).
7. Enviar sua tabela devidamente preenchida juntamente com um relatório contendo suas observações em relação à geração de resíduos, consumo, desperdício e propostas viáveis para a redução de resíduos.
8. O prazo de entrega do relatório será estipulado pelo professor tutor.

	Matéria Orgânica	Vidro	Metal	Plástico	Papel	Origem do material mais abundante
Segunda						
Terça						
Quarta						
Quinta						
Sexta						
Sábado						
Domingo						
Subtotal						

Tabela A.3; Tabela do Aluno (em kg)

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Nessa unidade vamos estudar as características dos resíduos sólidos e a importância do conhecimento dessas características no processo de disposição final.

A heterogeneidade encontrada entre os resíduos sólidos urbanos é imensa. As características qualitativas dos resíduos podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades.

A análise dos resíduos sólidos pode ser realizada segundo suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características influenciam diretamente a escolha e o dimensionamento das unidades de coleta, transporte e a disposição final dos resíduos.

### Características físicas

As principais características físicas dos resíduos sólidos gerados pela atividade humana são:

- A) Composição gravimétrica.
- B) Umidade.
- C) Peso específico.
- D) Compressibilidade.
- E) Geração per capita.

#### a) Composição física ou Gravimétrica

A composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos encontram-se na Tabela A4. Entretanto, muitos técnicos tendem a simplificar, considerando apenas alguns componentes, tais como papel/papelão; plásticos; vidros; metais; matéria orgânica e outros.

Matéria orgânica	Metal ferroso	Borracha
Papel	Metal não-ferroso	Couro
Papelão	Alumínio	Pano
Plástico rígido	Vidro claro	Ossos
PET	Vidro escuro	Cerâmica

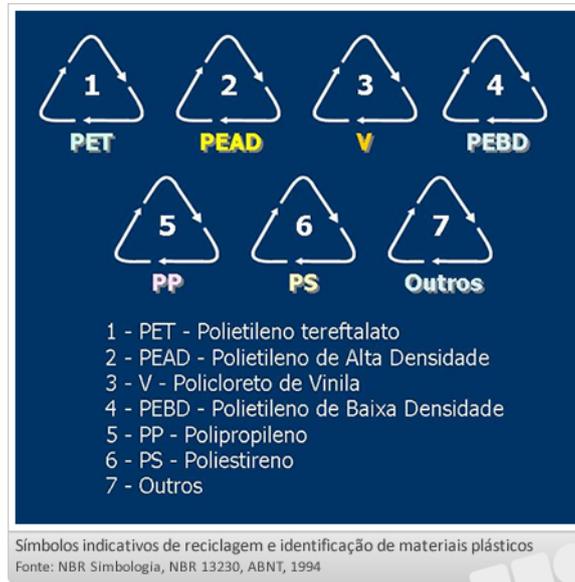
Tabela A4: Componentes mais comuns da composição gravimétrica

Fonte: do autor.

Esse tipo de composição simplificada, embora possa ser usado no dimensionamento de uma usina de compostagem e de outras unidades de um sistema de limpeza urbana, não se presta, por exemplo, a um estudo preciso de reciclagem ou de coleta seletiva, já que o mercado de plásticos rígidos é bem diferente do mercado de plásticos maleáveis, assim como os mercados de ferrosos e não-ferrosos.

### Saiba Mais

Veja a classificação dos plásticos de acordo com a constituição do material.



A composição gravimétrica indica a possibilidade de aproveitamento das frações recicláveis para comercialização e da matéria orgânica para a produção de composto orgânico.

Quando realizada por regiões da cidade, ajuda a se efetuar um cálculo mais justo da tarifa de coleta e destinação final.

A Tabela A5 expressa a variação das composições do lixo em alguns países, deduzindo-se que a participação da matéria orgânica tende a se reduzir nos países mais desenvolvidos ou industrializados, provavelmente em razão da grande incidência de alimentos semipreparados disponíveis no mercado consumidor.

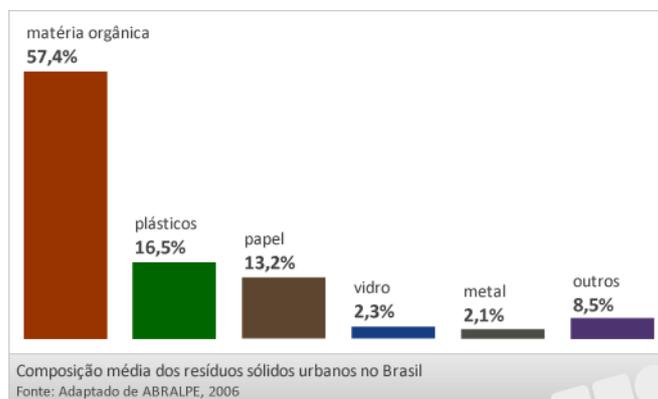
Composto	Brasil	Alemanha	Holanda	EUA
Mat. Orgânica	65	61,2	50,3	35,6
Vidro	3	10,4	14,5	8,2
Metal	4	3,8	6,7	8,7
Plástico	3	5,8	6	6,5
Papel	25	18,8	22,5	41

Tabela A5: Composição gravimétrica do lixo (%) em alguns países  
 Fonte: Monteiro et al., (2011)

A composição gravimétrica dos resíduos varia com hábitos e costumes da população, com número de habitantes, com o poder aquisitivo, clima, desenvolvimento da região, nível educacional e com as estações do ano. Nesse caso, a composição gravimétrica de um país ou cidade tem significativa probabilidade de ser diferente de outro, como mostrado na tabela A5.

## Saiba Mais

Veja a composição gravimétrica brasileira segundo ABRELPE (2006).

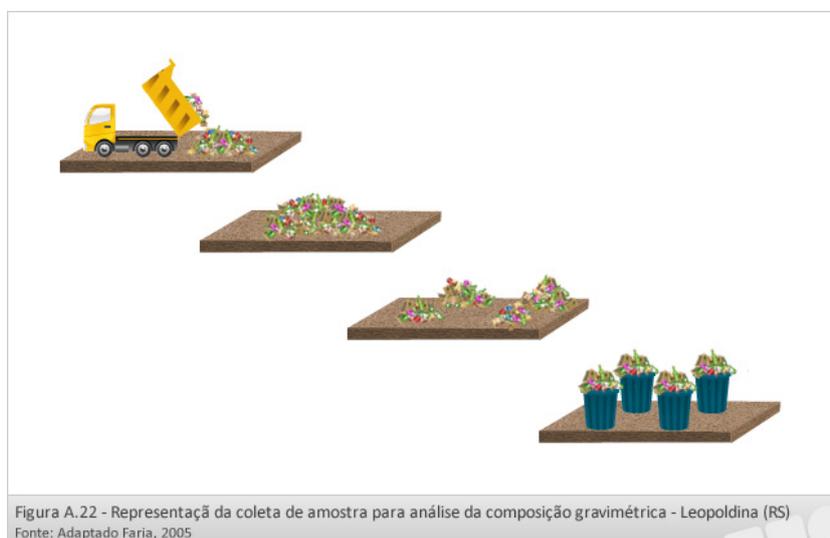


### Método de amostragem

Na literatura são apresentados diferentes métodos para realizar o estudo de composição gravimétrica dos resíduos urbanos, a maior parte baseada no quarteamento da amostra, como em Pessin et al. (2002).

O método descrito por Pessin et al. (2002) consiste na escolha da procedência dos veículos coletores de acordo com critérios de representatividade estatística. Os resíduos são então descarregados no solo sobre uma manta plástica. Em seguida, procede-se ao rompimento dos sacos ou embalagens dos resíduos, coletando quantidades em cinco pontos, uma no topo e quatro nas laterais do monte de resíduos, de modo a preencher quatro tonéis de 200 litros cada.

Os tonéis preenchidos são despejados sobre uma lona plástica, iniciando-se a mistura e o quarteamento da amostra, ou seja, a divisão em quatro partes do total de 800 litros de resíduos dispostos. Duas das partes obtidas pelo quarteamento, e localizadas em posição diametralmente opostas são descartadas. Repete-se a mistura e o quarteamento das partes restantes, obtendo-se uma amostra final de 200 litros ou de 100 litros. Nessa amostra realizam-se a separação e a pesagem dos materiais por componentes presentes na mesma (Figura A.22)



### Determinação da composição gravimétrica

- f) Escolher, segundo o objetivo do trabalho, a lista de resíduos que se quer determinar.
- g) Espalhar o material dos latões sobre uma lona em uma área plana.
- h) Separar os resíduos.
- i) Classificar como “outros” o material que não se enquadre na listagem.
- j) Pesar cada componente separadamente.
- k) Dividir o peso de cada componente pelo peso total da amostra e calcular a composição gravimétrica em termos percentuais.

O percentual de cada material em relação ao peso de resíduos da amostra é calculado por:

$$\text{Material (\%)} = \frac{\text{Peso da fração do material (kg)}}{\text{Peso total da amostra (kg)}} \times 100$$

### Saiba Mais

Para saber mais sobre o procedimento para análise da composição gravimétrica, veja o procedimento para análise granulométrica realizada por Daiane Dallmann e Leandro Feijó. Acesse: <[https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/determinacao\\_da\\_composicao\\_gravimetrica.pps](https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/determinacao_da_composicao_gravimetrica.pps)>

### b) Umidade

A umidade representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função da composição granulométrica inicial, as condições climáticas, o grau de decomposição biológica e do próprio funcionamento do sistema de drenagem do aterro de efluentes líquidos (chorume) e gasosos, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60%.

De acordo com Carvalho (1999), com base em amostras coletadas no aterro sanitário Bandeirantes, essas diferenças no teor de umidade são marcantes entre os diversos componentes do resíduo, conforme apresentado na Tabela A6.

Componentes	Massa Seca	Massa úmida
Metais	19,6	16,4
Papel	74,8	42,8
Plástico	41,5	29,3
M.O	47,0	32,0

Tabela A6: Umidade de alguns resíduos sólidos obtida no Aterro Sanitário Bandeirantes

Fonte: Carvalho (1999)

O teor de umidade influencia diretamente a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem. Afeta o poder calorífico e o peso específico aparente do lixo, concorrendo de forma indireta para o correto dimensionamento de incineradores e usinas de compostagem. Sua determinação é importante para o cálculo da produção de chorume e o correto dimensionamento do sistema de coleta de percolados.

## Determinação

O método padrão para determinação da umidade é o método da estufa, que segue a seguinte metodologia:

- Após o preparo da amostra, pesa-se uma sub-amostra de dois litros.
- Coloca-se seu conteúdo em uma estufa a 105°C por um dia ou a 75°C por dois dias consecutivos.
- Realiza-se a pesagem do material seco até que os resíduos apresentem peso constante.

Subtrai-se o peso da amostra úmida do peso do material seco e determina-se o teor de umidade em termos percentuais, utilizando a equação abaixo

### Umidade a base úmida

$$U\% = \frac{P_u - P_s}{P_u} \times 100$$

### Umidade a base seca

$$U\% = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

Onde:

- **U%** é a umidade da amostra de resíduo (%)
- **P<sub>u</sub>**- Peso da amostra úmida (kg)
- **P<sub>s</sub>** – Peso da amostra seca (kg)

## **c) Peso específico**

Peso específico aparente é o peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m<sup>3</sup>. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na ausência de dados mais precisos, podem-se utilizar os valores de 230kg/m<sup>3</sup> para o peso específico do lixo domiciliar, de 280kg/m<sup>3</sup> para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde e de 1.300kg/m<sup>3</sup> para o peso específico de entulho de obras.

O peso específico é fundamental para o correto dimensionamento da frota de coleta, assim como de contêineres e caçambas estacionárias.

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

Onde:

- **P** é o peso da amostra (kg)
- **V** é o volume da amostra (m<sup>3</sup>)

A unidades utilizadas para expressar o peso específico ( $\gamma$ ) são

Sistema internacional de unidades (SI):  $\left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$  (Kilo Newton por metro cúbico)

Sistema técnico de unidades (ST):  $\left[ \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \right]$  (quilograma força por metro cúbico) ou  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$  (quilograma por metro cúbico).

Relação entre o sistema internacional e sistema técnico

$$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} = \frac{9,81 \text{ KN}}{1000 \text{ m}^3}$$

O valor do peso específico está diretamente ligado à composição gravimétrica dos resíduos sólidos. Assim, quanto maior a quantidade de componentes leves como papel, papelão e plásticos ou quanto menor a quantidade de lixo úmido (matéria orgânica) menor será o seu valor. Isso significa dizer que as áreas de maior poder aquisitivo (maior quantidade de supérfluos) tendem a apresentar em relação às áreas de menor poder aquisitivo (maior quantidade de matéria orgânica), pesos específicos com menores valores, como pode ser observado na Tabela A7.

Resíduo	Peso específico (kgf/m <sup>3</sup> )
Papelão	49,6
Plástico	64,1
Papel	81,7
Vidro	194
Madeiras	240,3
Restos de Alimento	288
Metais	320,4

Tabela A7: Peso específico de alguns resíduos domésticos

Fonte: do autor

Além da composição gravimétrica, o peso específico é influenciado pela espessura da camada de cobertura (argilosa) diária e, também, pelo método executivo do aterro. Geralmente apresenta valores crescentes com a profundidade em consequência da compressão e consolidação da massa de lixo devido à sobrecarga das camadas superiores. A tabela A8 apresenta alguns valores de peso específico em função das condições de compactação e tempo dos resíduos.

Autor	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Local/Condições
Kaimoto & Cepolina, 1997	5 a 7	Resíduos novos, não decompostos e pouco compactados
	9 a 13	Resíduos após compactação com tratores de esteira ou rolo compactador e após a ocorrência de recalques
Santos & Presa, 1995	7	Resíduos recém lançados
	10	Resíduos após a ocorrência de recalques
Mahler & Iturri, 1998	10,5	Seção do aterro sanitário do Sítio São João com 84m de desnível e 10 meses de alteamento
Benvenuto & Cunha, 1991	10	Condição drenada
	13	Condição saturada

Tabela A8: Valores do peso específico de aterros de resíduos sólidos no Brasil.

Fonte: do autor

## **Determinação do peso específico**

- Percâmetro

Trata-se de equipamento de campo descrito por Carvalho (2002) através do qual é possível medir o peso específico, a permeabilidade, a variação da vazão do percolado na unidade do tempo e a capacidade de campo de uma amostra indeformada de resíduos sólidos

### **Atenção**

Amostra indeformada representativa para solos é aquela que conserva o máximo possível a composição granulométrica do material que constitui a camada, bem como o seu teor de umidade, índice de vazios e estrutura original

O percâmetro é constituído por um corpo cilíndrico vedado na parte superior e na inferior por duas tampas (flanges) unidas por hastes rosqueadas nas extremidades com porcas borboletas para facilitar a montagem e desmontagem do equipamento.



Figura A.23 - Percâmetro  
Fonte: Carvalho, 2002.

A utilização do percâmetro consiste na cravação do cilindro com o emprego da pá da retro-escavadeira; retirado o cilindro com o material são realizados os ensaios para obtenção dos parâmetros geotécnicos discriminados anteriormente.

## **d) Compressividade**

Compressividade é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de lixo pode sofrer quando compactada.

Submetido a uma pressão de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , o volume do lixo pode ser reduzido de um terço ( $1/3$ ) a um quarto ( $1/4$ ) do seu volume original.

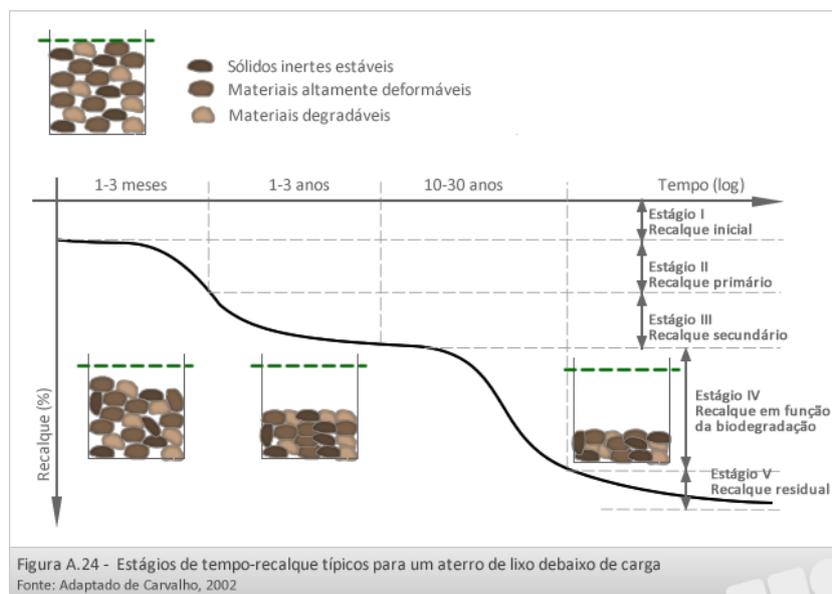
A compressibilidade é muito importante para o dimensionamento de veículos coletores, estações de transferência com compactação e caçambas compactadoras estacionárias e está relacionada com o recalque em aterros. Recalque é a deformação vertical provocada por cargas externas ou pelo peso dos resíduos.

O monitoramento do recalque é fundamental para a avaliação da integridade dos sistemas de revestimento, de cobertura e de drenagem de percolados e gases; estudos de reaproveitamento das áreas após o fechamento; quando realizado juntamente ao monitoramento físico-químico dos resíduos possibilita o estabelecimento de correlações entre recalques e degradação dos resíduos e também a visualização de falhas e da instabilidade da massa de resíduos pela ocorrência de trincas na cobertura de bermas e taludes.

Os recalques de aterros de resíduos sólidos urbanos ao longo do tempo podem ser dividido em 3 fases:

- **Compressão inicial:** este tipo de recalque é análogo à compressão elástica nos solos, ocorrendo de forma instantânea quando da aplicação do carregamento, associado à redução do tamanho das partículas e do vazio entre as mesmas;
- **Compressão primária:** este tipo de recalque ocorre em um prazo de cerca de 30 dias da aplicação da carga e é devido à dissipação de poropressões e gás dos vazios.
- **Compressão secundária:** este tipo de recalque (“creep”) que é o responsável pela maior parcela do recalque total dos aterros de resíduos sólidos urbanos, com uma duração que pode atingir algumas décadas, corresponde à deformação lenta e à biodegradação dos componentes do aterro.

Essas fases podem ser subdivididas, perfazendo um total de 5 fases, conforme apresentado na Figura A.24.



### e) Geração per capita

A **geração per capita** relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de uma determinada região.

A geração per capita é um parâmetro fundamental para o dimensionamento do volume de resíduos a coletar e a dispor; é importante para o dimensionamento de veículos e para a determinação da taxa de coleta, bem como para o correto dimensionamento de todas as unidades que compõem o Sistema de Limpeza Urbana. Na Tabela A9, são apresentados valores da geração per capita de resíduos de alguns países e cidades.

País	kg/hab.dia	Cidade	kg/hab.dia
EUA	1,5	Rio de Janeiro	0,9
Holanda	1,3	Buenos Aires	0,8
Japão	1,0	Santiago	0,8
Europa	0,9	San Salvador	0,68
Índia	0,4	Lima	0,5

Tabela A9: Geração per capita dos resíduos sólidos urbanos  
Fonte: Barros Junior (2002)

Muitos técnicos consideram de 0,5 a 0,8 kg/hab./dia como a faixa de variação média para o Brasil. Na ausência de dados mais precisos, a geração per capita pode ser estimada através da Tabela A10 e Tabela A11.

Tamanho da cidade	População urbana (hab)	Geração per capita (kg/hab dia)
Pequena	até 30 mil	0,5
Média	de 30 mil a 500 mil	0,5 a 0,8
Grande	de 500 mil a 5 milhões	0,8 a 1,0
Megalópole	acima de 5 milhões	Maior que 1,0

Tabela A10: Relação entre a população urbana e a produção diária de lixo  
Fonte: IBAM, 2000

População (mil habitantes)	Produção per capita (kg/hab dia)
Até 100	0,40
100 a 200	0,50
200 a 500	0,60
Maior que 500	0,70

Tabela A11: Produção de resíduos sólidos por habitante  
Fonte: CETESB, 2005.

### Estimativa da geração per capita

Procedimentos:

1. Medição do volume de lixo encaminhado ao aterro diariamente.
2. Cálculo do peso total do lixo aterrado, utilizando o peso específico.
3. Avaliação do percentual da população atendida pelo serviço de coleta.
4. Cálculo da população atendida, aplicando o percentual avaliado.
5. Cálculo da taxa de geração per capita (Gpc) pela equação abaixo.

$$Gp_o = \frac{\text{Peso de resíduos}}{\text{População} \times \frac{C_o}{100}}$$

Onde:

- **G<sub>po</sub>** – geração per capita (kg/hab dia)
- **Co** – Cobertura do serviço de coleta (%)

### f) Estimativa futura da geração de resíduos

Além das características e da composição, o conhecimento ou a estimativa do total de resíduos a serem gerados no futuro é fundamental para o projeto e operação de um aterro sanitário, em especial para a definição da vida útil ou volume total de aterro necessário.

Os fatores principais que influenciam na quantidade de resíduos gerados são:

- cobertura da coleta ou nível de atendimento dos serviços de coleta;
- população;
- geração per capita (função da renda e nível de consumo da população).

A estimativa atual de geração de resíduos sólidos municipais pode ser feita pela seguinte equação:

$$G_o = P_o \cdot G_{p_o} \cdot C_o$$

Por sua vez, a geração futura de resíduos sólidos é dada por:

$$G_t = [ P_o \cdot (1+y_p)^t ] \cdot [ G_{p_o} (1+y_{per})^t ] \cdot C_t$$

Onde:

- **G<sub>t</sub>** = geração futura de resíduos, após t anos (kg/d);
- **G<sub>o</sub>** = geração atual de resíduos (kg/d);
- **P<sub>o</sub>** = população atual do total do município (hab);
- **G<sub>po</sub>** = geração per capita atual (kg/hab.d) – obtida por amostragem ou literatura;
- **C<sub>o</sub>** = cobertura atual da coleta ou nível de atendimento dos serviços de coleta;
- **C<sub>t</sub>** = nível de cobertura da coleta no tempo t considerado;
- **y<sub>p</sub>** = taxa de crescimento populacional (% a.a.);
- **y<sub>per</sub>** = taxa de incremento anual da geração per capita (% a.a.);
- **t** = tempo considerado (anos).

## Características químicas

O conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamentos e técnicas de disposição final. Algumas das características básicas de interesse são:

- A) Poder calorífico;
- B) pH;
- C) Composição química (carbono, nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre);
- D) Relação C/N;
- E) Sólidos totais fixos;
- F) Sólidos voláteis.

### a) Poder calorífico

Esta característica química indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do lixo domiciliar se situa na faixa de 5.000kcal/kg.

O poder calorífico influencia o dimensionamento das instalações de todos os processos de tratamento térmico (incineração, pirólise e outros).

### b) Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7.

### c) Composição química

A composição química consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.

### d) Relação Carbono/Nitrogênio (C:N)

A relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1.

Componente	Porcentagem em peso base seca (%)					
	Carbono	Hidrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Enxofre	Cinzas
<b>Orgânico</b>						
Restos de alimento	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Papel	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0
Papelão	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0
Plásticos	60,0	7,2	22,8	-	-	10,0
Têxteis	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Borracha	78,0	10,0	-	2,0	-	10,0
Couro	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0
Podas de jardins	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5
Madeira	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5
<b>Inorgânico</b>						
Vidro	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	98,9
Metais	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5
Pó, cinza, etc.	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	68,0

Tabela A12: Relação carbono/hidrogênio

Fonte: do autor

## Características biológicas

As características biológicas do lixo são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no lixo que, ao lado das suas características químicas, permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final mais adequados.

O conhecimento das características biológicas dos resíduos tem sido muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/acceleradores da decomposição da matéria orgânica, normalmente aplicados no interior de veículos de coleta para evitar ou minimizar problemas com a população, ao longo do percurso dos veículos.

Da mesma forma, estão em desenvolvimento processos de destinação final e de recuperação de áreas degradadas com base nas características biológicas dos resíduos.

### Leitura

Consulte a página 229 do Manual da Funasa (2004) para saber sobre as doenças transmitidas por vetores encontrados nos resíduos.

## Fatores que influenciam as características dos resíduos sólidos

É fácil imaginar que em época de chuvas fortes o teor de umidade no lixo cresce e que há um aumento do percentual de alumínio (latas de cerveja e de refrigerantes) no carnaval e no verão. Assim, é preciso tomar cuidado com os valores que traduzem as características dos resíduos, principalmente no que concerne às características físicas, pois os mesmos são muito influenciados, por fatores sazonais, que podem conduzir o projetista a conclusões equivocadas.

Os principais fatores que exercem forte influência sobre as características dos resíduos estão listados abaixo.

### 1. Climáticos

- **Chuvas** - aumento do teor de umidade.
- **Outono** - aumento do teor de folhas.
- **Verão**-aumento do teor de embalagens de bebidas (latas, vidros e plásticos rígidos).

### 2. Épocas especiais

- **Carnaval** - aumento do teor de embalagens de bebidas (latas, vidros e plásticos rígidos).
- **Natal/Ano Novo/ Páscoa** - aumento de embalagens (papel/papelão, plásticos maleáveis e metais); aumento de matéria orgânica.
- **Dia dos Pais/Mães** - aumento de embalagens (papel/papelão e plásticos maleáveis e metais).
- **Férias escolares** - esvaziamento de áreas da cidade em locais não turísticos; aumento populacional em locais turísticos.

### 3. Demográficos

- **População urbana** - quanto maior a população urbana, maior a geração per capita.

#### 4. Socioeconômicos

- **Nível cultural** - quanto maior o nível cultural, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica.
- **Nível educacional** - quanto maior o nível educacional, menor a incidência de matéria orgânica.
- **Poder aquisitivo** - quanto maior o poder aquisitivo, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica.
- **Desenvolvimento tecnológico** - introdução de materiais cada vez mais leves, reduzindo o valor do peso específico aparente dos resíduos.

#### Parada Obrigatória

Agora que você leu o conteúdo da unidade A, teste seus conhecimentos, realizando a atividade “jogo das características dos resíduos sólidos”, disponível no moodle da disciplina.

### Resumo

Nesta semana você aprendeu sobre as características físicas, químicas e biológicas dos resíduos. Para saber mais, veja a apresentação com o resumo do conteúdo abordado. Acesse: <<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/moodle/mod/url/view.php?id=394>>

#### Referências

- CARVALHO, M. F. (1999). **Comportamento Mecânico de resíduos sólidos Urbanos**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 300p.
- CARVALHO, A. R. (2002). **Determinação dos parâmetros geotécnicos dos resíduos sólidos do Aterro Sanitário de Santo André / São Paulo**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – **IBAM**. [www.ibam.org.br](http://www.ibam.org.br). Acesso em ago. 2008.
- FARIA M R A **Caracterização do resíduo sólido urbano da cidade de Leopoldina-MG: proposta de implantação de um centro de triagem** Revista APS v.8,n.2 2005. disponível em< [http://bvsm.sau.gov.br/bvs/periodicos/revista\\_APS\\_v8n2.pdf](http://bvsm.sau.gov.br/bvs/periodicos/revista_APS_v8n2.pdf). Acesso em jul.2010
- MONTEIRO, José Henrique Penido. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. IBAM, 2001. 200p.
- PESSIN, N.; DE CONTO, S.M. e QUISSINI, C.S. 2002. **Diagnóstico preliminar da geração de resíduos sólidos em sete municípios de pequeno porte da região do Vale do Caí, RS**. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL. ABES, mai. 2002, Porto Alegre
- SILVEIRA, A. M. M. **Estudo do peso específico de resíduos sólidos urbanos**.Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro: COPPE, 2004

## Atividade - Características dos resíduos sólidos

1. Para a estimativa da geração per capita de um município de 150.000 habitantes, foi realizado, durante 10 dias, um acompanhamento da disposição de resíduos sólidos urbanos em um aterro sanitário. O volume de lixo coletado durante o período é apresentado na Tabela 1. Considerando os seguintes dados:

- Densidade dos resíduos = 0,6 Ton/m<sup>3</sup>;
- Abrangência do serviço de coleta = 90%

Qual a geração diária de resíduos sólidos por habitante do município em questão.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volume (m <sup>3</sup> )	120	80	60	200	250	30	200	100	70	90

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Dada a composição gravimétrica dos municípios (Tabela 2), ESCOLHA UM MUNICÍPIO e determine o peso de cada componente gerado anualmente por 150.000 habitantes e estime o aproveitamento efetivo de resíduos sólidos recicláveis (metal, papel, plástico e vidro) e o peso de resíduos destinados ao aterro sanitário. Utilize o valor da geração per capita calculada na questão anterior.

Municípios Discriminação	Bayeux	Cabedelo	Conde	C. E. Santo	J. Pessoa	Lucena	Sta Rita
Metal	4	3	3	4	3	4	4
Papel/papelão	9	7	9	8	5	9	7
Matéria orgânica	60	66	65	54	64	61	58
Plástico	11	9	8	9	9	9	14
Vidro	4	2	3	3	1	3	2
Outros	6	5	7	15	13	7	12
Inertes	6	8	5	8	6	8	4

Composição gravimétrica (%)

3. De acordo com os dados na tabela abaixo calcule o peso específico médio dos resíduos disposto em um aterro sanitário em  $\text{kg}/\text{dm}^3$  e em  $\text{KN}/\text{m}^3$

Cilindro	Diâmetro do cilindro (dm)	Altura do cilindro (dm)	Volume do Cilindro ( $\text{dm}^3$ )	Peso do Cilindro (kg)	Peso Cilindro + Peso da amostra (kg)	Peso da amostra (kg)	Peso Específico	
							$\text{kg}/\text{dm}^3$	$\text{kN}/\text{m}^3$
1	1,52	1,779		3,88	8,562			
2	1,5216	1,769		3,78	7,98			
3	1,5214	1,775		3,82	9,21			
4	1,5196	1,775		3,90	6,95			
5	1,5228	1,775		3,78	7,55			

4. Pesquise um artigo científico que aborde as características dos resíduos sólidos urbanos e apresente uma análise reflexiva do mesmo levantando os aspectos positivos e negativos do trabalho.

5. De posse dos valores obtidos pela análise semanal dos resíduos gerados em sua residência (Atividade A1), calcule a geração per capita e a composição gravimétrica dos resíduos e compare com a composição gravimétrica média nacional.

• Observação: se você realizou a estimativa em volume, considere a tabela abaixo para o cálculo do peso (kg) dos resíduos gerados.

Resíduo	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Papelão	49,6
Plástico	64,1
Papel	81,7
Vidro	194
Madeiras	240,3
Restos de Alimento	288
Metais	320,4

Peso específico em função do tipo de resíduo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**TICS**

**B**

**B**

## **Sistemas de disposição final de resíduos sólidos**

**Unidade B  
Disposição Final de Resíduos**



# 1. SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Antes de iniciarmos a unidade B, onde vamos estudar os métodos de disposição final de resíduos sólidos assista a uma série de vídeos sobre como essa questão é tratada nos municípios brasileiros acessando os links abaixo:

<http://www2.camara.gov.br/tv/materias/CAMARA-INFORMA/185013-SERIE-SOBRE-O-LIXO-OS-DESAFIOS-DA-DESTINACAO-DO-LIXO.html>

<http://www2.camara.gov.br/tv/materias/CAMARA-INFORMA/185012-SERIE-SOBRE-O-LIXO--A-IMPORTANCIA-DA-SEPARACAO-DO-LIXO-CASEIRO.html>

<http://www2.camara.gov.br/tv/materias/CAMARA-INFORMA/185011-SERIE-SOBRE-O-LIXO-UM-RETRATO-DO-COTIDIANO-DOS-CATADORES-DE-LIXO.html>

<http://www2.camara.gov.br/tv/materias/CAMARA-INFORMA/185010-SERIE-SOBRE-O-LIXO-APROVEITAMENTO-TECNOLOGICO-DOS-DEJETOS.html>

Nessa semana vamos iniciar o estudo sobre os métodos de disposição final de resíduos adotados no Brasil suas peculiaridades, vantagens, desvantagens e impactos ambientais.

Vimos anteriormente que a geração de resíduos sólidos é marcada pelo:

- Rápido crescimento populacional;
- Concentração da população em centros urbanos;
- Aumento do desperdício e toxicidade;
- Utilização de produtos de não reutilização e rápido envelhecimento;
- Aumento do poder aquisitivo;

Em 18 anos no Brasil a população passou de 146 milhões de habitantes para 180 milhões de habitantes, representando um aumento de 23%. No mesmo período a geração de resíduos aumentou em 73%. (IBGE 1989; ABRELPE 2008)

A grande questão é:

## Onde dispor os resíduos gerados?

A dificuldade em responder essa questão está relacionada com alguns aspectos dentre eles cita-se:

- a geração de resíduos é diária e contínua;
- restrições ambientais (implantação e monitoramento);
- descontinuidade e questões políticas;
- poucas áreas disponíveis e adequadas;
- custos envolvidos (área, projeto, manutenção, outros);
- falta de profissionais na área.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 2002), a população brasileira é de aproximadamente 170 milhões de habitantes, produzindo aproximadamente 149 mil toneladas de resíduos sólidos diariamente.

Os locais destinados ao recebimento dos resíduos gerados pela atividade humana, são classificados segundo os critérios da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) em três categorias distintas: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

Dessa forma podemos resumir o sistema de disposição de final de resíduos no Brasil do seguinte modo:



## Lixão ou depósito a céu aberto

Caracteriza-se por se tratar de uma forma de deposição desordenada com pouco ou nenhum controle ambiental sem compactação ou cobertura dos resíduos, o que propicia a poluição do solo, ar e água, bem como a proliferação de vetores de doenças (Figura B.1).



Figura B.1 - Disposição a céu aberto de resíduos sólidos urbanos  
Fonte: do autor

É o método mais utilizado em municípios onde não há recursos financeiros ou que não possuem ainda uma política ambiental bem definida. Sua localização, na maioria dos casos se dá em locais inadequados, degradando o local e seu entorno.

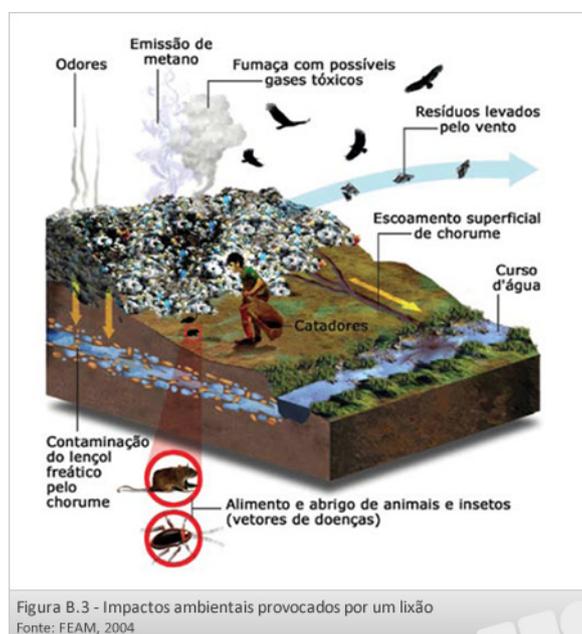
Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002), quanto à destinação final de resíduos sólidos de acordo com a população dos municípios, indicam que 63,6% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos sólidos em “lixões”, somente 13,8% informam que utilizam aterros sanitários e 18,4% dispõem seus resíduos em aterros controlados, totalizando 32,2 %. Os 5% dos entrevistados restantes não declaram o destino de seus resíduos (Figura B.2)



Verifica-se também que a destinação mais utilizada ainda é o depósito de resíduos sólidos a céu aberto na maioria dos municípios com população inferior a 10.000 habitantes, considerados de pequeno porte, correspondendo a cerca de 48% dos municípios brasileiros.

### Impactos ambientais ocasionados por lixões

Os resíduos dispostos em lixões acarretam problemas ambientais, de saúde pública e sociais. A Figura B.3 ilustra os principais impactos ambientais ocasionados pela disposição a céu aberto



Em termos ambientais, os lixões agravam a poluição do ar, do solo e das águas, além de provocar poluição visual.

A decomposição dos resíduos, principalmente da matéria orgânica gera dois subprodutos, ambos com elevado potencial poluidor. São eles:

**Gás de aterro**, cujo principal componente é o Metano ( $\text{CH}_4$ ), que causam odores desagradáveis poluindo o ar e contribuindo para a intensificação do efeito estufa e **chorume** ou **lixiviado** ou ainda **percolado**

um líquido de coloração escura, malcheiroso e elevada DBO que ocasiona a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas. O chorume é produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólido, sendo uma mistura de substâncias inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal e diversas espécies de microorganismos (Figura B.4).



Figura B.4 - Bombeamento do chorume  
Fonte: Autor

## Leitura

Leia o artigo disponível na biblioteca virtual intitulado **“CHORUME, IMPACTOS AMBIENTAIS E POSSIBILIDADES DE TRATAMENTOS”**

O que iremos discutir detalhadamente mais adiante.

Embora o chorume e os gases sejam os maiores problemas causados pela decomposição do lixo, outros problemas associados com sua disposição podem ser assim compreendidos:

- produção de fumaça e odores desagradáveis;
- agressão estética à paisagem natural;
- riscos de incêndio e intensificação do efeito estufa;
- desvalorização imobiliária das vizinhanças.
- aparecimento de catadores precariamente organizados, inclusive crianças como mostrado na Figura B5.



Figura B.5 - Crianças catando resíduos recicláveis. Pelotas, 2010  
Fonte: Autor

Nos casos de lançamento desordenado de resíduos em encostas, é possível ainda ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção temporária da água da chuva, provocando deslizamentos.

### Atenção

ISSO traz alguma recordação para você? Lembra do morro do Bumba em Niterói, RJ. Pesquise na internet e descubra o que ocasionou a morte de mais de 50 pessoas.

Em termos sociais, os lixões a céu aberto interferem na estrutura local, pois a área torna-se atraente para as populações de baixa renda do entorno, que buscam, na separação e comercialização de materiais recicláveis, uma alternativa de trabalho, apesar das condições insalubres e subumanas da atividade



Figura B.6 - Catadores em área de disposição de resíduos à céu aberto  
Fonte: do autor

Pode-se acrescentar ainda a este cenário, o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se, até mesmo, a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde, principalmente dos hospitais como também das indústrias.

Comumente ainda se associam aos lixões fatos altamente indesejáveis, como a presença de animais, e problemas sociais e econômicos com a existência de catadores, os quais retiram do lixo o seu sustento e, muitas vezes, residem no próprio local.

Somam-se a tudo isso os problemas de saúde pública, como a proliferação de inúmeros vetores de doenças como apresentado na Tabela B.1.

Doenças	Vetor	Sintomas
Febre tifóide Febre paratifóide	Moscas	Febre contínua, manchas no tórax e abdome, cefaléia, diarreia.
Ancilostomose	Moscas	Distúrbios intestinais, perturbações do sono, vômitos, dores abdominais.
Amebíase	Moscas e Baratas	Desintéria (fezes com sangue).
Poliomielite	Baratas	Febre, náuseas, cefaléia, vômitos, paralisia.
Gastroenterite	Baratas	Diarreia, vômitos e febre.
Elefantíase	Mosquitos.	Aumento dos vasos, derramamento, edema linfático
Febre Amarela	Mosquitos	Febre, calafrios, náusea, vômitos, pulso lento, cefaléia, icterícia.
Leptospirose	Ratos	Febre alta, coriza, cefaléia, hemorragia, icterícia.
Peste	Ratos	Inflamações hemorrágicas, baço-fígado-pulmões e sistema central.
Toxoplasmose	Suínos e Urubus	Calcifi cações intracerebrais, distúrbios psicomotores.
Hepatite infecciosa	Contato com agulhas infectadas, plasma	Febre, náuseas, icterícia, fadiga, dores abdominais.

Tabela B.1 Doenças e vetores associadas aos resíduos sólidos dispostos à céu aberto. Fonte: Cussiol (2005)<sup>1</sup>

### Dica

Para compreender melhor os problemas sociais ocasionados pela disposição inadequada de resíduos assista o documentário **Boca de Lixo**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=w4bTwAbtzSA>>

### Saiba Mais

Consulte o link [http://geografiavisual.com.br/wp-content/uploads/2011/09/viagem\\_do\\_lixo.swf](http://geografiavisual.com.br/wp-content/uploads/2011/09/viagem_do_lixo.swf) e descubra mais sobre os impactos da disposição de resíduos a céu aberto na poluição do rios e mares.

### Alerta

Os lixões deverão ser extintos do Brasil de acordo com a Política Nacional dos Resíduos sólidos. Consulte a Lei N. 12305, de 2 de agosto de 2010

1 CUSSIOL, N. A. M. , Universidade Federal De Minas Gerais. Disposição final de resíduos potencialmente infectantes de serviços de saúde em célula especial e por co-disposição com resíduos sólidos urbanos. 2006 Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais.

## 2. ATERRO CONTROLADO

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, que visa à minimização dos impactos ambientais. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

Este método de disposição, geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (podendo comprometer a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento do percolado (termo empregado para caracterizar a mistura entre o chorume e a água de chuva que percola no aterro) e do biogás gerado.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do estado de São Paulo menciona que esse método é mais indicado que o lixão, mas em virtude dos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, é de qualidade técnica bem inferior ao aterro sanitário.

Para implantação deste método é necessária a licença ambiental pelo órgão competente. Esse método é utilizado em municípios que coletam até 50t/dia de resíduos urbanos, sendo desaconselhável para cidades maiores (IBAM,2002)

### **A apresentação de projetos de aterros controlados é normatizada pela norma NBR 8849/85**

É possível converter um vazadouro em um aterro controlado, observando-se os seguintes requisitos:

- Efetuar diagnóstico determinando a qualidade ambiental do vazadouro.
- Avaliar as condições de fechamento e selagem que permitam o desenvolvimento de um aterro sanitário.
- Avaliar a vida útil do novo projeto, a qual deverá superar no mínimo cinco anos

### **Vantagens do aterro controlado**

- Baixo custo de implantação;
- Baixo custo de operação;
- Ocupação de áreas degradadas;
- Flexibilidade de operação;

### **Desvantagens do aterro controlado**

- Tempo de imobilização do terreno;
- Necessidade de grandes áreas;
- Necessidade de material de cobertura;
- Poluição dos recursos naturais;

### **As operações em aterros controlados consistem em:**

1. Recebimento do resíduos
2. Espalhamento e compactação dos resíduos
3. Cobertura com material inerte

## Importância da cobertura dos resíduos

- Minimizar os maus odores;
- Evitar queimas e fumaça;
- Diminuir a proliferação de vetores;
- Diminuir a infiltração de água;
- Orientar a saída dos gases;
- Pista de rodagem para os veículos;
- Aparência aceitável do aterro;
- Crescimento de vegetação;

---

### Saiba Mais

Clique aqui e assista ao vídeo sobre aterro controlado e observe atentamente sua definição e suas principais características.

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/12601>

---

### 3. ATERRO SANITÁRIO

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-se com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT NBR 8419/92).

É o local para a disposição de resíduos urbanos que obedece a critérios técnicos de proteção ao meio ambiente atendendo as premissas normalizadas (Norma NBR 13896 – aterros de resíduos não perigosos e a NBR 10157 – aterro de resíduos perigosos).

Os aterros modernos podem ser divididos em duas classes: os sanitários, utilizados principalmente para os resíduos urbanos e os industriais.

#### Saiba Mais

Assista ao Vídeo Aterro Sanitário, produzido pelo CEMPRE<sup>2</sup> e observe a definição de aterro sanitário e as estruturas necessárias que serão objeto de estudo na próxima semana.

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/15396>

Entende-se que um aterro sanitário devidamente projetado, construído e operado, deva causar o mínimo impacto ambiental possível à região (Figura B.7).

O seu planejamento envolve estudos de localização quanto à proximidade de habitações, possibilidade de contaminação de água, distâncias, acesso ao local, obras de drenagem, planejamento da própria operação e das sucessivas frentes a serem atacadas.



Figura B.7 - Aterro sanitário de Caxias do Sul, RS  
Fonte: do autor

Os aterros sanitários permitem o confinamento seguro dos resíduos em termos de contaminação ambiental e saúde pública. Os resíduos são dispostos em camadas, compactados por tratores e cobertos por uma camada de terra que será a base para uma nova camada de resíduos.

<sup>2</sup> CEMPRE – Compromisso Empresarial com a Reciclagem Disponível em <http://www.cempre.org.br/videos.php>

Os evitam a propagação de odores, fogo e fumaça, a proliferação de animais e as atividades marginais de catação. Sua instalação deve ser feita em área adequadamente escolhida, sobre solo impermeável e afastada de corpos d'água, permitindo o controle e o tratamento dos líquidos percolados, o chorume. Os gases produzidos pela decomposição dos resíduos, basicamente metano, podem ser aproveitados ou então queimados no próprio local.

### Saiba Mais

Assista a animação das etapas de funcionamento de um aterro sanitário.

[https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/funcionamento\\_do\\_aterro\\_sanitario.swf](https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/funcionamento_do_aterro_sanitario.swf)

O monitoramento desse tipo de aterro tem de ser permanente, a fim de poder antecipar qualquer possibilidade de contaminação do solo adjacente e das águas subterrâneas. Deve-se procurar reduzir ao mínimo a quantidade de material lixiviado emitido pelo aterro industrial, evitando-se a disposição de resíduos muito úmidos e pastosos. Não obstante sejam gerados em quantidades reduzidas nos aterros bem construídos e operados, esses líquidos lixiviados devem constantemente ser analisados e, se necessários, tratados.

Os resíduos dispostos em aterro devem ser, tanto quanto possível, secos, estáveis, pouco solúveis e não voláteis. Quando os resíduos recebidos não preenchem essas condições, devem passar por operações de estabilização, que consistem de processos físico-químicos destinados a reduzir a presença de lixiviáveis, corrigir o pH, aumentar a resistência física dos resíduos, secá-lo, etc.

Os aterros para resíduos urbanos não devem, por seu turno, receber indistintamente materiais contaminados precedentes de serviços de saúde, como resíduos hospitalares, de farmácias, de clínicas, inclusive veterinárias, etc. Não havendo na região outra forma de tratamento desses resíduos, como a incineração, por exemplo, deve-se reservar parte do aterro sanitário para acolhê-los em uma célula própria, com controle e monitoramento especiais.

Deve ser também evitada a disposição, nos aterros sanitários, de lâmpadas, pilhas, resíduos de produtos eletrônicos e outros materiais ricos em metais pesados, muito embora, em vários países, essa disposição ainda não seja proibida legalmente.

## Vantagens dos aterros sanitários

- Disposição do lixo de forma adequada;
- Capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos;
- Condições especiais para a decomposição biológica da matéria orgânica presente no lixo;

## Problemas dos aterros sanitários

- Risco de poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneo, pela ação do chorume
- Formação de gases nocivos e de odor desagradável (Metano)

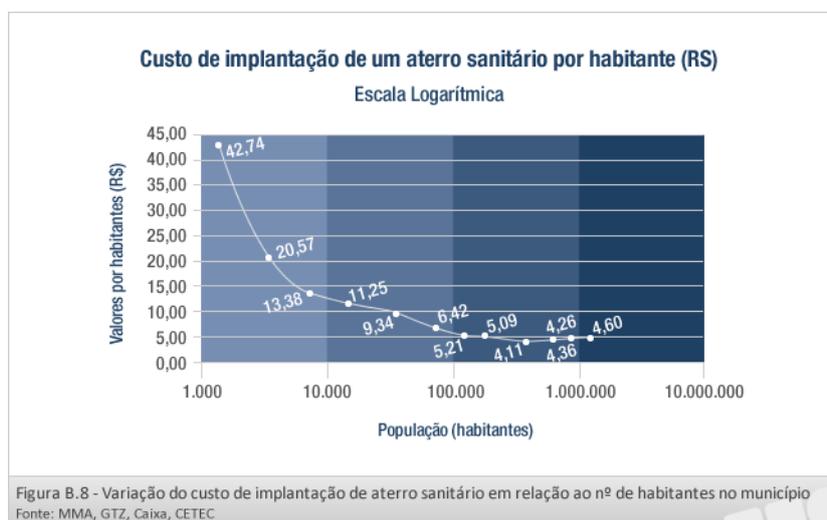
Os aterros sanitários também podem causar impactos potenciais negativos para todo saneamento básico, meio ambiente, sociedade, saúde coletiva e uso e ocupação do solo. Contudo, a minimização ou eliminação desses impactos está diretamente relacionada ao desenvolvimento de projetos de aterros tecnicamente fundamentados e à adoção de medidas mitigadoras (atenuadoras), como a impermeabilização de base, de modo a atender às exigências legais.

## Fatores limitantes;

- Disponibilidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos que não comprometam a segurança e o conforto da população;
- A disponibilidade de material de cobertura diária;
- Condições climáticas de operação durante o ano;
- Escassez de recursos humanos habilitados em gerenciamento de aterros.
- Risco de eventual contaminação de águas;
- Custos relacionados com aquisição de terrenos, de implantação e operação.

A Figura B.8 mostra a variação do custo de implantação de um aterro sanitário por habitante. Observa-se que para pequenos municípios com população inferior a 10.000 habitantes o valor de implantação de um aterro sanitário torna-se inviável. Uma das saídas para municípios de pequeno porte reduzir o custo com a implantação e operação de um aterro sanitário é o consorcio entre municípios. Ato previsto pela Lei Nº 11.107, de 6 de abril de 2005 e regulamentada pelo Decreto Federal nº6.017, de 2007.

Outra opção para pequenos municípios é adoção de **aterros simplificados ou aterros em valas**, assunto que será discutido posteriormente.



Nos Estados Unidos, por exemplo, os custos de disposição em aterros sanitários no final da década de 70 estavam na faixa de 5 a 10 US\$/t. No final da década de 80, o custo já atingia 50 US\$/t e hoje já se encontra beirando 100 US\$/t, em muitas áreas.

Para comparação, no Brasil, os valores atualmente dispendidos pelos municípios giram em torno de 5 a 15 US\$ por tonelada de resíduos, dispostos em aterros, o que não espelha um custo real, pois esses valores não incorporam os reais custos sociais da não adoção de políticas de longo prazo e com máxima segurança para o meio ambiente. A Tabela B2 apresenta valores relacionados com o custo de disposição de resíduos em aterros de diferentes cidades brasileiras (Jucá, 2003<sup>3</sup>)

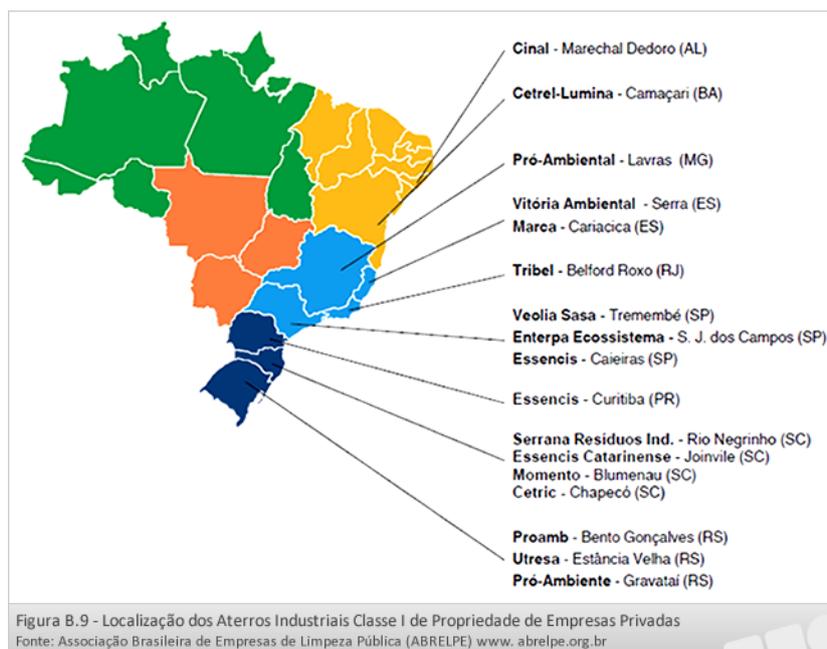
<sup>3</sup> Jucá José Fernando Thomé Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil In Congresso Brasileiro de Geotecnica Ambiental REGEO'2003 – Porto Alegre, RS.

Cidade	Disposição final	Custos: R\$/Ton
Rio de Janeiro - RJ	Aterro Controlado de Gramacho	5,06
Rio de Janeiro - RJ	Aterro Controlado Zona Oeste	6,78
Fortaleza - CE	Aterro Sanitário de Aquiraz	7,20
Belo Horizonte - MG	Aterro Controlado	10,82
Porto Alegre - RS	Aterro Sanitário Extrema	18,00
Porto Alegre - RS	Aterro Sanitário Santa Tecla	18,00
São Paulo - SP	Aterro Sanitário	18,00
União da Vitória - PR	Aterro Sanitário	17,46

Tabela B2 Custos com a disposição final de resíduos em algumas cidades brasileiras.

## 4. ATERROS INDUSTRIAIS

Os aterros industriais requerem projeto e execução mais elaborados que os aterros sanitários, em razão dos tipos de materiais que deverão receber, particularmente quando se trata de resíduos perigosos (resíduos Classe I, segundo a NBR 10.004). Na figura B9 é possível identificar a localização os principais aterros classe I do país.



Um aterro industrial requer impermeabilização rigorosa de sua base, com materiais naturais ou sintéticos (mantas plásticas especiais), e uma cobertura impermeável para as células que já tiverem sido preenchidas, a fim de evitar a infiltração de águas de chuva e possibilitar o controle de emissões gasosas. É importante manter uma distância de vários metros do fundo das valas do aterro até o nível máximo do freático no local.

Não devem ser dispostos nos aterros industriais: ácidos, bases fortes, compostos orgânicos muito solúveis e voláteis, materiais inflamáveis e explosivos e rejeitos radioativos.

Entretanto, com o emprego de técnicas especiais de estabilização como: encapsulamento ou solidificação que os tornam insolúveis e estáveis possibilitando a disposição desses materiais. Nas Figura B.10 e B.11 são mostrados dois aterros de resíduos industriais localizados no Rio Grande do Sul.

### Saiba Mais

O processo de encapsulamento também conhecido como solidificação, estabilização, inertização ou fixação. Consiste na estabilização ou imobilização de resíduos perigosos, transformando-os em materiais menos poluentes através da adição de aglomerantes ou através de processos físicos.



Figura B.10 - Aterro de resíduos industrial Proamb  
Fonte: Bento Gonçalves, 2010



Figura B.11 - Aterro de resíduos industriais UTRESA  
Fonte: Estância Velha, 2005

## Saiba Mais

Consulte o site <<http://www.proamb.com.br>> e <<http://www.utresa.org>> para saber mais sobre as características dos aterros industriais.

## Resumo

Nessa unidade vimos os sistemas de disposição final utilizados no Brasil

São eles:

- Lixões
- Aterros controlados
- Aterros Sanitários
- Aterros Industriais

**Os lixões** caracterizam-se pelo elevado impacto ambiental devido a inexistência de controle ambiental na disposição dos resíduos.

Essa forma de disposição ocasiona:

- a contaminação do solo,
- a poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos
- e também a contaminação da atmosfera.

Esses impactos são ocasionados pelo gás de aterro e o chorume, subprodutos gerados pela decomposição da matéria orgânica, principalmente.

Os lixões são utilizados em municípios com baixa arrecadação financeira e falta de um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos

**Aterro controlado** é uma forma de disposição de resíduos sólidos no solo, que visa à minimização dos impactos ambientais. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Porém não deve ser considerado um método definitivo, pois continua poluindo os recursos naturais

**O aterro sanitário** é o método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-se com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

É o local para a disposição de resíduos urbanos que obedece a critérios técnicos de proteção ao meio ambiente atendendo as premissas normalizadas (Norma NBR 13896 – aterros de resíduos não perigosos e a NBR 10157 – aterro de resíduos perigosos).

Os aterros modernos podem ser divididos em duas classes: os sanitários, utilizados principalmente para os resíduos urbanos e os industriais.

Os aterros sanitários permitem o confinamento seguro dos resíduos em termos de contaminação ambiental e saúde pública. Os resíduos são dispostos em camadas, compactados por tratores e cobertos por uma camada de terra que será a base para uma nova camada de resíduos.

Já o aterro industrial é bem semelhante ao aterro sanitário apresentando as mesmas estruturas e sistemas, porém, Os aterros industriais requerem projeto e execução mais elaborados que os aterros sanitários, em razão dos tipos de materiais que deverão receber, particularmente quando se trata de resíduos perigosos (resíduos Classe I, segundo a NBR 10.004).

## Atividade

Descreva e comente as principais diferenças na comparação entre um aterro sanitário e um lixão.

ATERRO SANIÁRIO	X	LIXÃO
RECEPÇÃO DOS RESÍDUOS		
CONTROLE DE ENTRADA		
IMPERMEABILIZAÇÃO		
DEPOSIÇÃO		
DRENAGEM		
COBERTURA DOS RESÍDUOS		
ACESSIBILIDADE		
IMPACTO VISUAL		

Quais as dificuldades encontradas para termos mais aterros sanitários no Brasil?

Descreva como é a destinação final praticada em seu município. Como você, futuro profissional da área ambiental, espera mudar e/ou melhorar essa destinação final?

Responda a essas questões individualmente e, em seguida, discuta suas respostas com os demais colegas e com o professor no Fórum de discussão.



**TICS**



## **Projeto e implantação de aterros sanitários**

**Unidade C**  
**Disposição Final de Resíduos**





# 1. SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E UNIDADES DE APOIO

Olá pessoal!

Essa semana começaremos a estudar e discutir os elementos constituintes, as estruturas e as unidades de apoio necessário em um aterro sanitário e também as etapas envolvidas em um projeto de aterro sanitário.

Antes de iniciarmos a unidade C, realize a atividade sobre Sistemas de disposição de resíduos sólidos acessando o link abaixo:

<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/moodle/mod/quiz/attempt.php?attempt=486>

## Para lembrar

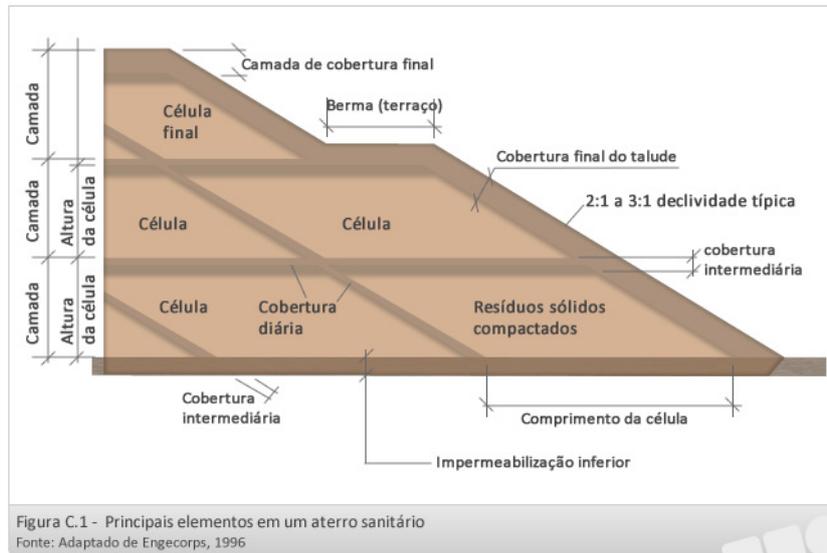
*Aterro sanitário é uma técnica de disposição final que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-se com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT NBR 8419/92).*

Para que isso ocorra de maneira adequada ambientalmente e dentro de padrões de segurança, são necessárias várias estruturas ou sistemas que desempenham funções específicas.

## Elementos e estruturas constituintes de um aterro sanitário

Vamos iniciar nosso estudo sobre esses sistemas e elementos que constituem um aterro sanitário aprendendo algumas definições:

- **Aterramento** - processo pelo qual os resíduos sólidos são colocados no aterro sanitário. Esse processo inclui o monitoramento dos resíduos que entram no aterro, a disposição e a compactação dos resíduos, e a instalação de sistemas de monitoramento ambiental e de sistemas de controle.
- **Célula** - é o termo utilizado para descrever o volume de material colocado no aterro durante um determinado período de operação, geralmente um dia (Figura C.1). Uma célula inclui os resíduos depositados e o material de cobertura diária que os encobre. Uma camada de resíduos do aterro é uma sequência de células numa mesma altura do aterro. Aterros típicos são constituídos de várias camadas sobrepostas.



- **Cobertura diária** - consiste de uma camada de 15 a 30 cm de solo local ou outro material alternativo como composto ou entulhos da construção beneficiados que são colocados sobre as frentes de trabalho ao final de cada jornada de trabalho.
- **Patamares (ou terraços)** - são utilizados quando a altura do aterro exceder 15 a 20 m. Os patamares são utilizados para manter a estabilidade dos taludes do aterro, para a colocação de drenagem de águas pluviais, para a colocação de redes de drenos de biogás, e para o trânsito de veículos e máquinas na manutenção futura dos taludes.
- **Camada de cobertura final** - é colocada sobre o aterro quando todas as operações do aterro estão completadas. Esta camada normalmente consiste de várias camadas de solo e/ou geomembrana projetadas para melhorar a drenagem superficial, diminuir a infiltração de água da chuva no aterro, controlar e emissão de gases, e dar suporte a revegetação.
- **Encerramento do aterro** - é o termo utilizado para descrever os passos que devem ser dados para encerrar em segurança um aterro que teve seu volume completado. Cuidados de pós-encerramento referem-se a atividades monitoramento e manutenção de longo prazo do aterro após o seu encerramento (usualmente 30 a 50 anos).

## Sistemas de um aterro sanitário

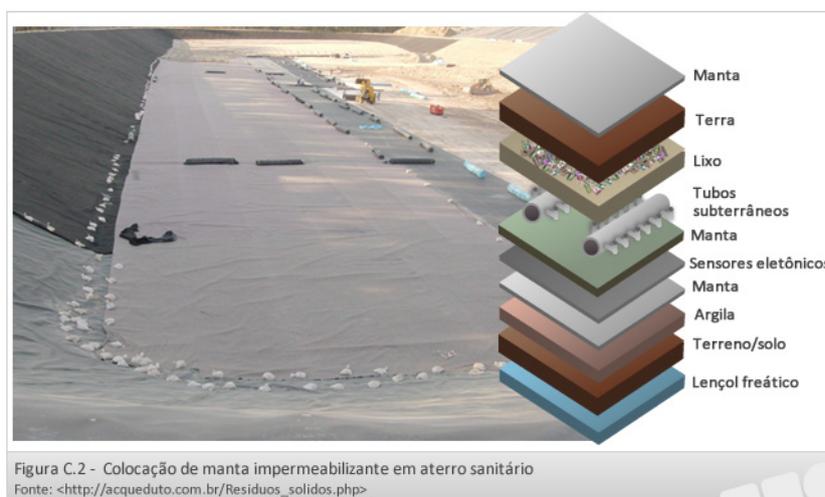
Um aterro sanitário conta necessariamente com as seguintes unidades:

- Impermeabilização de base e superior;
- Sistema de drenagem pluvial;
- Sistema de drenagem e tratamento dos líquidos percolados (chorume);
- Sistema de coleta e queima (ou tratamento) do biogás;
- Sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico;
- Jazida de material de recobrimento

### a) Impermeabilização da base e superior

Tem a função de impedir ou reduzir significativamente a infiltração no solo dos lixiviados e gases pela base ou fundo do aterro. A impermeabilização é constituída por vários materiais, como por exemplo, material argiloso compactado e geomembranas que formam uma série de camadas sobrepostas. Além da impermeabilização da base são adotados também como elementos de controle em aterros os sistemas

de coleta e extração de lixiviados, sistemas de coleta e extração de biogás e camadas de cobertura diária e final. A Figura C.2 mostra a instalação de geomembrana de PEAD de base de um aterro em implantação.



### b) Sistema de drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais tem como função minimizar a entrada de águas de chuva para o interior do aterro, drenando a precipitação sobre as áreas do aterro sanitárias já concluídas e cobertas reduzindo, dessa forma, a geração de líquidos lixiviados e o escoamento superficial, que pode provocar erosão nos taludes do aterro e comprometer o funcionamento das camadas de cobertura final (Figura C.3)

O sistema de drenagem pluvial é composto por canais construídos em argila compactada, solo revestido em concreto, meia-cana ou tubos de concreto, gabiões e materiais alternativos como tiras de pneu e entulho da construção civil



### c) Sistema de drenagem e tratamento dos líquidos percolados

Na fundação dos aterros, juntamente com a execução da camada de impermeabilização, são implantados sistemas de drenagem constituídos por tubos de concreto ou PEAD perfurados envoltos em material granular subjacentes às camadas drenantes de areia e ou brita/cascalho (Figura C.4). Essas tubulações

conduzem o percolato às unidades de tratamento localizadas geralmente na menor cota do terreno.

O sistema de drenagem deve ser dimensionado de forma a coletar e remover o mais rapidamente possível os lixiviados gerados, evitando seu acúmulo na massa de resíduos e os possíveis problemas de instabilidade associados a isso.



Figura C.4 - Sistema de drenagem de chorume em aterro sanitário  
Fonte: <<http://www.cascavel.pr.gov.br>>

## Alerta

Mais adiante estudaremos detalhadamente o sistema de impermeabilização e de drenagem na unidade D.

Em relação ao tratamento do chorume utilizando-se técnicas semelhantes ao tratamento de efluentes doméstico. Os sistemas de tratamento mais empregados são:

1. Tratamento biológico:

- Lodos ativados;
- Lagoas de estabilização;
- Lagoas aeradas;
- Contadores biológicos rotatórios (biodiscos);
- Digestão anaeróbia.

2. Tratamento físico-químico:

- Floculação e sedimentação;
- Filtração;
- Coagulação e precipitação;
- Carvão ativado, entre outros.

3. Processos Alternativos:

- Aplicação no solo;
- Tratamento combinado com águas residuárias (esgoto doméstico)

No aterro controlado de Pelotas, RS o sistema de tratamento do chorume é composto por: filtro anaeróbico e lagoa anaeróbia, facultativas e de maturação (Figura C.5)



Figura C.5 - Sistema de tratamento de chorume do aterro controlado de Pelotas-RS  
Fonte: do autor.

#### d) Sistema de drenagem do biogás

O sistema de captação de gases de aterro tem o objetivo de coletar e remover os gases gerados pela decomposição da matéria orgânica no interior do aterro sanitário

Para o sistema de drenagem de gases de aterros, são utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais para a retirada do gás dos aterros distribuídos em diversos pontos do aterro. Os drenos verticais de gás são os mais utilizados, sendo que, nesse caso, sempre são interligados com os drenos horizontais de lixiviados.

As três formas mais usuais de se construir drenos verticais são:

- utilizando-se um tubo guia dentro do qual são colocadas pedras britadas (ou pedras de mão de até 10 cm), com o tubo sendo elevado à medida que se aumenta a cota do aterro;
- utilizando-se tubos perfurados de PVC, PEAD e concreto. O diâmetro dos drenos varia de 50 cm a 100 cm. Aterros maiores e de maior altura podem possuir drenos verticais de até 150 cm de diâmetro. Conforme a elevação da cota do aterro os tubos vão sendo sobrepostos
- utilizando-se uma fôrma feita de tela, onde se colocam pedras de mão, que vai subindo à medida que o aterro sobe.

A Figura C.6, ilustra as formas de construção dos drenos de gás.

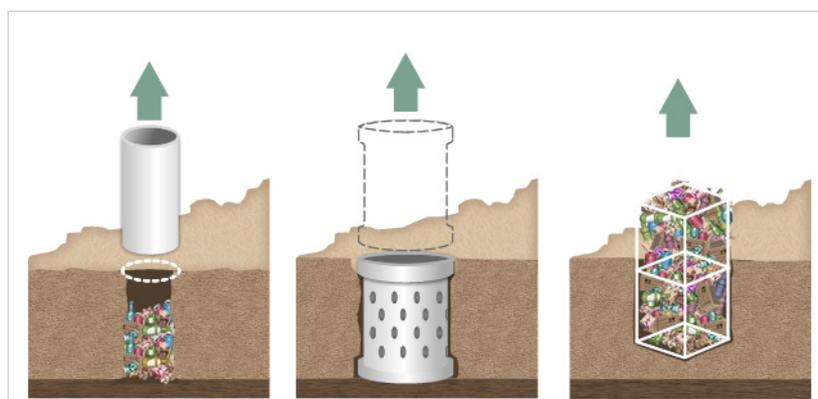


Figura C.6 - Formas de construção de drenos de gás em aterros sanitários  
Fonte: Cartilha da Limpeza Pública, 2004

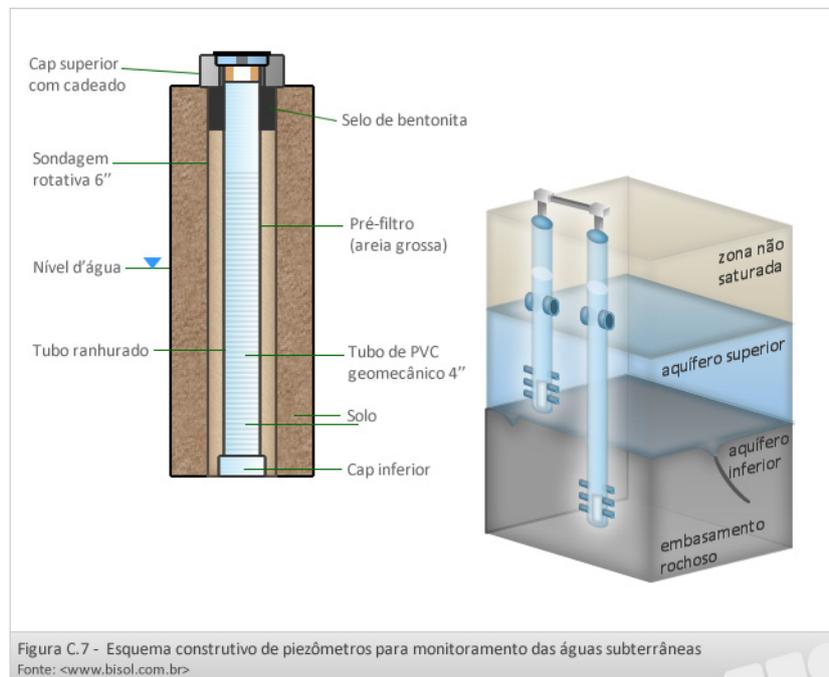
### e) Monitoramento ambiental e geotécnico

O monitoramento ambiental tem como objetivo verificar se as obras de drenagem e impermeabilização cumprem com a função de isolar o entorno do aterro dos resíduos e efluentes potencialmente poluidores. Nesse caso o principal foco de monitoramento é a água superficial e a subterrânea (lençol freático)

O monitoramento é realizado pela comparação de parâmetros estabelecidos no plano de monitoramento analisados de amostras de águas de superfície e do lençol freático captadas no perímetro da área de aterramento com análises de amostras das águas de montante e jusante da área de aterro.

As águas superficiais deverão ser coletadas em dois pontos: dois próximos ao local de lançamento dos efluentes líquidos tratados, sendo um à jusante do lançamento e outro à montante.

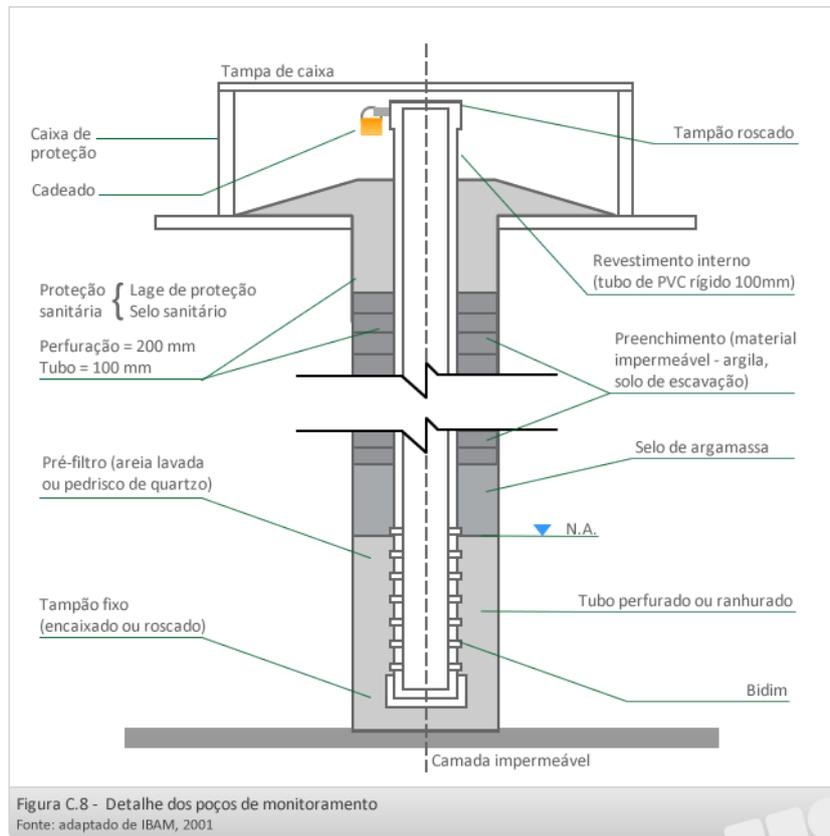
As águas de lençol freático deverão ser coletadas em piezômetros construídos ao longo do perímetro do sítio, sendo, no mínimo 3 piezômetros à jusante e um à montante, considerando o fluxo preferencial do lençol freático (Figura C.7).



### Saiba mais

Piezômetro é um poço selado que permite a determinação da profundidade do lençol freático e a coleta de amostras de água para análises de monitoramento

Os piezômetros são construídos conforme critérios estabelecidos pela norma da ABNT NBR 15495-1:2007 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares.



Além da água superficial e subterrânea é necessário o monitoramento dos efluentes do aterro e das unidades de tratamento. O local de lançamento do efluente tratado deverá ser monitorado para avaliação do efluente final que será lançado no corpo hídrico.

Na Figura C.9 observa-se a coleta do chorume (em detalhe) no aterro controlado de Pelotas, RS para realização de análise de acordo com o plano de monitoramento ambiental.



Os resultados de análises deste ponto deverão ser periodicamente enviados ao órgão de controle ambiental, para fins de comparação com os limites máximos de emissão de efluentes líquidos de acordo com a legislação de emissão de efluentes líquidos vigente.

Na tabela C1 é apresentado uma proposta de periodicidade de coleta e análise, bem como dos parâmetros a serem analisados para as águas superficiais, águas subterrâneas ou subsuperficiais, lixiviados nas unidades de tratamento, e lixiviado no ponto de emissão final pós-tratamento.

Meio	Periodicidade	Parâmetros
Águas superficiais	Bimestral	Temperatura; Demanda Química de oxigênio (DQO); Condutividade; Oxigênio dissolvido (OD); pH; Fe, Mn; Cl, NH <sub>4</sub> ;
Águas subterrâneas (subsuperficiais)	Bimestral	Nível da água; Temperatura; Condutividade; Oxigênio dissolvido (OD); pH; Cl, NH <sub>4</sub> ;
	Quadrimestral	Análises do bimestral incluindo Mg, Fe, Mn, Cd, Cr, Zn
Tratamento de percolados	Semanal	Vazão, Temperatura, pH
	Mensal	DQO, DBO, NH <sub>4</sub> ; Cl e inclui os parâmetros semanais
	Trimestral	Análise mensal incluindo SO <sub>4</sub> , Na, K
	Semestral	Como trimestral mais Mg, Fe, Mn, Cd, Cr, Zn
Percolado tratado	Mensal	Vazão, pH, DBO
	Trimestral	Como mensal mais Cl, NH <sub>4</sub> , SO <sub>4</sub> , DQO, DBO, Na
	Anual	Como trimestral incluindo Fe, Mn, Cd, Cr, Cu; Zn

Tabela C1. Análises necessárias em um plano de monitoramento em aterro sanitário e sua periodicidade

Fonte: do autor

Já o monitoramento geotécnico de aterros sanitários é uma importante ferramenta que permite a contínua avaliação das condições de segurança deles, além de possibilitar a contínua estimativa da vida útil dos aterros sanitários, já que os RSU são materiais altamente deformáveis.

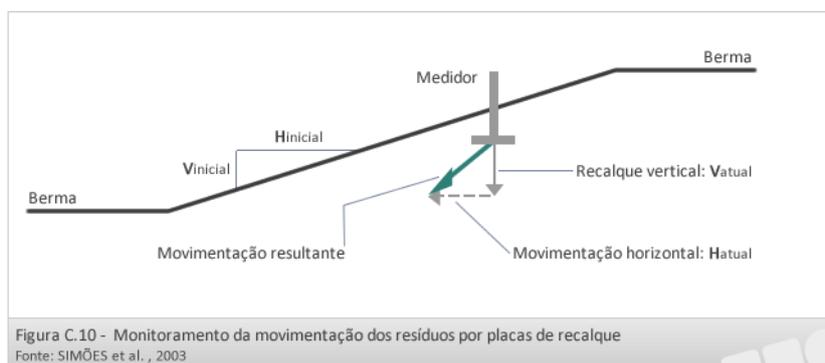
No monitoramento geotécnico o principal objetivo é o acompanhamento periódico do recalque do aterro

### Dica

O recalque em aterros será estudado na unidade Projeto e Implantação.

Os recalques causam movimentos verticais e horizontais do aterro, o que pode desestabilizar o aterro e provocar o desmoronamento do mesmo (Figura C.10).

Com o objetivo de monitorar os recalques, os deslocamentos horizontais e o comportamento do maciço do aterro sanitário com um todo, deve ser prevista a instalação de placas de recalques e marcos de superfície.



As placas de recalque são dispositivos que devem ser instalados na camada de resíduos, nos talude, nas bermas e no topo do aterro, permitindo o acompanhamento dos recalques por adensamento do aterro (Figura C.11). Estes dispositivos têm as seguintes características:

- são instaladas no interior do maciço do aterro sanitário, em pontos estratégicos;
- são confeccionadas em material resistente à corrosão, com dimensões de 0,6 x 0,6m e hastes de 2" de diâmetro;
- para permitir liberdade de movimentação da placa, a haste vertical deve ser protegida com tubo de PVC rígido;
- as leituras periódicas deverão ser realizadas por nivelamento geométrico de precisão; utilizando referências de níveis localizados em terreno indeformável fora da área útil do aterro.



Figura C.11 - Medidor de recalque superficial instalado e identificado  
Fonte: SIMÕES et al., 2003

Os marcos superficiais são instalados na camada de cobertura final do aterro após a conclusão do mesmo, e têm o objetivo de medir os recalques e deformações horizontais. Os marcos podem ser confeccionados em formato piramidal, utilizando concreto simples, e instalados firmemente na superfície do aterro. As leituras periódicas deverão ser feitas de maneira análoga às das placas de recalque.

## Unidades de apoio:

### Cerca e barreira vegetal

O cercamento da área deve ser executado para dificultar o ingresso de pessoas não autorizadas na área do aterro, como por exemplo, catadores.

Uma boa medida é construir a cerca, com aproximadamente dois metros de altura, com moirões de concreto nos quais são passados cinco fios de arame galvanizado, igualmente espaçados. Acompanhando a cerca de arame, recomenda-se a implantação de uma barreira vegetal, com uma espessura mínima de 20 metros, para impedir a visão da área operacional e auxiliar na dispersão do cheiro característico do lixo.

### Estradas de acesso e de serviço

Devem ser capazes de permitir o trânsito livre de veículos de carga, ao longo de todo o ano e desde a zona urbana até a frente de operações do aterro em cada momento. As estradas de acesso e de serviço devem ser executadas em pavimento primário. Nos aterros de pequeno porte, os acessos internos podem ser construídos com vários materiais: saibro, rocha em decomposição, material de demolição e produtos de pedreira.

### Balança rodoviária e sistema de controle de resíduos

A balança é um elemento de extrema importância para o controle da operação e da vida útil do aterro.

Dever ser localizada junto à guarita de controle e com capacidade de medição compatível com o peso total dos caminhões coletores utilizados, com carga plena.

A montagem da balança deve seguir rigorosamente as instruções do fabricante, tomando-se os cuidados necessários para o perfeito nivelamento das plataformas de pesagem. Concluída a montagem, deve-se proceder à sua aferição oficial com o auxílio da equipe de fiscalização.

### Guarita de entrada e prédio administrativo

Deve ser posicionada preferencialmente junto à entrada da área. A guarita de controle, no caso da existência de balança rodoviária deverá ter dimensões suficientes e ser adequadamente localizada de modo abrigar os instrumentos de controle e registro da balança. Deverá também possibilitar condições adequadas de trabalho ao vigilante.

### Alojamento para funcionários

O alojamento de ser dotado de escritório, almoxarifado, ferramentaria, instalações sanitárias completas e local para refeições. Poderá ser localizado próximo à guarita ou em local apropriado.

#### Saiba mais

Assista a animação que apresenta de uma forma inusitada as estruturas e sistemas necessários em um aterro sanitário: <<http://www.youtube.com/watch?v=ozD8is1nR68&feature=youtu.be>>

## UNIDADE



## 2. ETAPAS DE PROJETO DE UM ATERRO SANITÁRIO

Para o estabelecimento de um aterro sanitário é necessário estabelecer um roteiro de etapas que podem apresentar-se na seguinte ordem:

- a) Processo de seleção de áreas
- b) Licenciamento
- c) Projeto executivo
- d) Implantação

### Atenção

O processo de seleção de áreas será abordado na próxima unidade, e a implantação e o monitoramento do aterro serão estudados posteriormente

### Licenciamento Ambiental

O Licenciamento Ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades de pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado que utilizem recursos ambientais e sejam consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras ou, ainda, daquelas que, sob qualquer forma ou intensidade, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições gerais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

### Dica

O licenciamento ambiental da maioria das atividades que se relacionam com meio ambiente (aterro sanitário, usina de compostagem, etc) é concedido por órgãos ambientais, geralmente, estaduais. Assim, listas alguns sites de órgãos ambientais de alguns estados para serem consultados: Rio Grande do Sul: <[www.fepam.gov.br](http://www.fepam.gov.br)>; Minas Gerais: <[www.feam.br](http://www.feam.br)>; Rio de Janeiro: <[www.feema.rj.gov.br](http://www.feema.rj.gov.br)>; São Paulo: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>; Mato Grosso do Sul: <[www.supema.ms.gov.br](http://www.supema.ms.gov.br)>. Para os outros estados acesse: <[www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>

As etapas do licenciamento ambiental podem variar de estado para estado, mas, em regra, podemos dizer que as seguintes etapas estarão sempre presentes:

### Licença Prévia (LP)

Libera o empreendedor para realizar os estudos de impacto ambiental relativos à implantação do aterro e elaborar o projeto executivo. Após o pedido da LP, o órgão de controle ambiental procederá à elaboração de uma instrução técnica para orientar a realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo relatório (RIMA).

Durante esse processo de aprovação da LP, o empreendedor pode dar início ao desenvolvimento do projeto executivo, com a complementação das investigações de campo e elaboração dos projetos de interesse ambiental e complementares, sempre incorporando as medidas mitigadoras preconizadas no EIA.

Após a análise e aprovação do EIA, o órgão de controle ambiental pode exigir a realização de uma audiência pública, com a participação de todos os atores envolvidos (empreendedor, órgão de controle ambiental e população).

### **Licença de Instalação (LI)**

Libera o empreendedor para executar as obras de implantação do aterro conforme detalhadas no projeto executivo, incluindo medidas de controle ambiental e demais condicionantes. Após a obtenção da LI inicia-se a implantação do aterro sanitário.

### **Licença de Operação (LO)**

Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após fiscalização prévia obrigatória para verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, tal como as medidas de controle ambiental e as condicionantes porventura determinadas para a operação. É concedida com prazos de validade de quatro ou de seis anos, estando, portanto, sujeita à revalidação periódica. A LO é passível de cancelamento, desde que configurada a situação prevista na norma legal.

## **Projeto Executivo**

Um aterro sanitário é uma obra de engenharia, e como tal deve ter um projeto executivo deverá ser obrigatoriamente constituído das seguintes partes:

- a) memorial descritivo;
- b) memorial técnico;
- c) cronograma de execução e estimativa de custos;
- d) desenhos ou plantas;
- e) eventuais anexos.

### **Saiba mais**

O conjunto de normas que definem a apresentação de projetos de aterros e os critérios para projeto e implantação e operação de aterros sanitários e de resíduos perigosos são:

- NBR 8419/92 – Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos;
- NBR 8418/83 – Apresenta de Projetos de Aterros de resíduos perigosos
- NBR 13896/97 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação;
- NBR 10157/87 – Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação>

### **a) Memorial descritivo**

Entende-se por memorial descritivo as prescrições do projeto do aterro que se refere à sua concepção, abrangendo a origem e composição dos resíduos a serem dispostos, uma descrição do sistema de gerenciamento de resíduos do município, uma caracterização da área de implantação do aterro, e detalhadas descrição e especificação dos elementos do projeto e operação.

Segundo a norma brasileira NBR 8419/92, um memorial descritivo deve abranger as seguintes partes:

1. informações cadastrais;
2. informações sobre os resíduos a serem dispostos no aterro sanitário;
3. caracterização do local destinado ao aterro sanitário;
4. concepção e justificativa do projeto;
5. descrição e especificações dos elementos do projeto;
6. operação do aterro sanitário;
7. uso futuro da área do aterro sanitário.

Todos os elementos do projeto (drenagem superficial, drenagem e tratamento de lixiviados, impermeabilização inferior e superior, drenagem de biogás, e operação do aterro) devem ser detalhadamente descritos no memorial descritivo, de modo que quem for implantar e operar o aterro não tenha dúvidas quanto à forma e detalhamento a ser executado. Sugere-se que a itenização do memorial descritivo seja a mesmo do memorial técnico, facilitando a consulta dos responsáveis pela execução do aterro em campo.

## **b) Memorial técnico**

Podemos denominar de memorial técnico o conjunto de cálculos e planos dos elementos constituintes do projeto, ou seja, o memorial técnico deve conter (segundo a NBR 8419/92):

1. cálculo dos elementos de projeto (mostrando dados e parâmetros de projeto utilizados, critérios, fórmulas e hipóteses de cálculo, justificativas e resultados);
2. vida útil do aterro (prazo de utilização);
3. sistema de drenagem superficial;
4. sistema de drenagem e remoção de lixiviados;
5. sistema de drenagem de biogás;
6. sistema de tratamento de lixiviados;
7. cálculo de estabilidade dos taludes de terra e do maciço do aterro (resíduos).

## **c) Cronograma de execução e estimativa de custos**

Faz parte do projeto do aterro a apresenta-se de um cronograma físico-financeiro para a implantação e operação do aterro sanitário.

A estimativa detalhada dos custos de implantação, operação e manutenção do aterro devem conter, entre outros, os custos de:

1. equipamentos utilizados;
2. mão-de-obra empregada;
3. serviços utilizados;
4. materiais utilizados;
5. instalações e serviços de apoio.

Na tabela C2 é apresentado um modelo da distribuição das etapas de implantação, execução e operação de um aterro sanitário

Ano 1 Pré- implementação	Ano 2 implantação	Anos 3 a 22 operação	Ano 23 encerramento	Anos 23 a 42 Pós- encerramento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo de viabilidade;</li> <li>• Aquisição do terreno;</li> <li>• Projeto e licenc.;</li> <li>• Impostos e taxas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestrutura geral,</li> <li>• Células de disposição,</li> <li>• Sist. Drenagem águas superficiais,</li> <li>• Áreas verdes,</li> <li>• Instalações de apoio,</li> <li>• Administração,</li> <li>• Impostos e taxas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Células de disposição,</li> <li>• Disposição de resíduos,</li> <li>• Sist. Dren. Percolados e gases,</li> <li>• Trat. Percolados,</li> <li>• Sist. Drenagem águas superficiais,</li> <li>• Áreas verdes,</li> <li>• Monitoramento,</li> <li>• Equipe de operação,</li> <li>• Administração,- Impostos e taxas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras de encerramento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trat. De percolados,</li> <li>• Áreas verdes,</li> <li>• Monitoramento,</li> <li>• Equipe de operação,</li> <li>• Administração,</li> <li>• Impostos e taxas</li> </ul>

Tabela C2: descrição de cada etapa ao longo do tempo

Fonte nota técnica n.003/2010 [www.cnm.org.br](http://www.cnm.org.br)

#### d) Desenhos ou plantas

O projeto de aterro sanitário pode variar de um local para outro, dependendo das características intrínsecas de cada local. Após a discussão e aprovação do projeto básico ou lay-out procede-se ao traçado do projeto executivo. Abaixo são citadas algumas plantas necessárias:

1. planta de situação e localização (escala entre 1:1000 e 1:2000);
2. planta de concepção geral do aterro (1:1000 e 1:5000);
3. planta baixa do aterro, ou vista superior com indicação das áreas de deposição dos resíduos sólidos (não inferior a 1:1000);
4. planta do sistema de drenagem superficial (não inferior a 1:1000);
5. planta do sistema de drenagem de lixiviados (não inferior a 1:1000);
6. planta do sistema de drenagem de gases (entre 1:200 e 1:1000);

#### e) Anexos ao projeto executivo

Pode-se colocar como anexos ao projeto do aterro sanitário laudos e documentos que autor julgar necessários ou importantes como: ;?licenças ambientais; certificado de propriedade ou titularidade da área; laudos geológico e hidrogeológico da área; especificações técnicas de equipamentos ou materiais especiais;

#### Dica

Acesse o site da FEPAM e baixe e leia as Instruções Técnicas para apresentação de Projetos de ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS <[www.fepam.gov.br](http://www.fepam.gov.br)>

## Resumo

Nessa unidade estudamos os elementos e estruturas que caracterizam um aterro sanitário de acordo com as exigências ambientais.

Resumidamente as principais estruturas de um aterro são:

- Células;
- Impermeabilização de base e superior;
- Sistema de drenagem pluvial;
- Sistema de drenagem e tratamento dos líquidos percolados (chorume);
- Sistema de coleta e queima (ou tratamento) do biogás;
- Sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico;
- Jazida de material de recobrimento e
- Unidades de apoio.

Quanto o processo de implantação de um aterro é possível elencar as etapas conforme quadro a seguir:

Constituintes	Descrição	Conteúdo
Memorial Descritivo	Informações gerais sobre os resíduos e sobre o projeto do aterro sanitário.	Informações cadastrais; Informações sobre os resíduos a serem dispostos no aterro sanitário; Caracterização do local destinado ao aterro sanitário; Concepção e justificativa do projeto; Descrição e especificações dos elementos do projeto; Operação do aterro sanitário; Uso futuro da área do aterro sanitário.
Memorial Técnico	Podemos denominar memorial técnico ao conjunto de cálculos e planos dos elementos constituintes do projeto.	Cálculo dos elementos de projeto; Vida útil do aterro; Sistema de drenagem superficial; Sistema de drenagem de lixiviados; Sistema de drenagem de biogás; Sistema de tratamento de lixiviados; Cálculo de estabilidade dos taludes de terra e do maciço do aterro (resíduos).
Cronograma de execução e estimativa de custos	Cronograma físico-financeiro para a implantação e operação do aterro sanitário.	Equipamentos utilizados; Mão-de-obra empregada; Serviços utilizados; Materiais utilizados; Instalações e serviços de apoio.
Desenhos ou plantas	Documento no qual se podem encontrar todas as plantas que devem estar presentes em um projeto de aterro sanitário.	Planta de situação e localização; Planta de concepção geral do aterro; Planta baixa do aterro, ou vista superior com indicação das áreas de deposição dos resíduos sólidos, entre outras.
Anexos ao projeto executivo	Nos anexos ao projeto do aterro sanitário podem ser encontrados laudos e documentos que o projetista julgar necessários ou importantes.	Licenças ambientais ou outras licenças; Certificado de propriedade ou titularidade da área; Cópia da publicação da Licença Prévia em jornal, entre outros anexos.

Tabela C3: síntese

Fonte do autor

UNIDADE



## Atividade - Sistemas de captação e unidades de apoio

Você é contratado para implantar um aterro sanitário em um município onde a disposição final de resíduos sólidos urbanos é realizada em um lixão. Sistematize as etapas que você considera necessárias para a viabilização desse empreendimento. Justifique cada uma dessas etapas.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Tendo por base a política dos 3Rs (redução, reutilização e reciclagem), quais ações poderiam ser adotadas para se aumentar a vida útil dos aterros? Discuta essas ações.

---

---

---

---

---

---

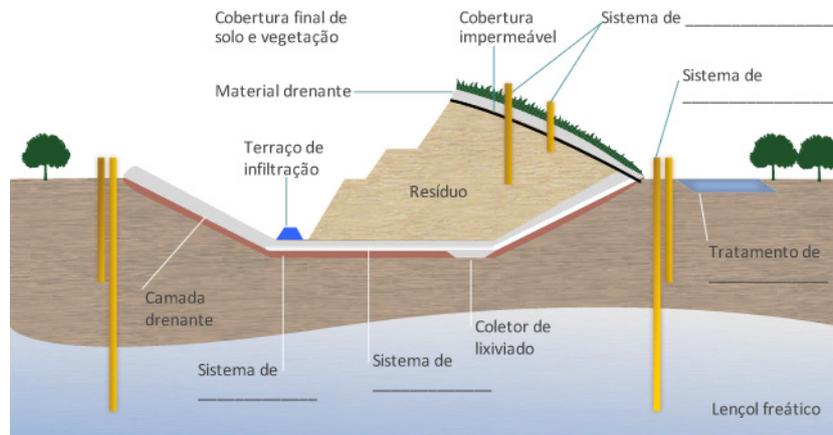
---

---

---

---

No esquema a seguir apresentam-se os elementos que constituem um aterro sanitário típico. Porém, alguns nomes dos elementos foram apagados. Cabe a você a tarefa de nomear novamente esses elementos.



Observe as imagens de sistemas de disposição de resíduos sólidos e assinale a alternativa que você considera correta, se achar necessário consulte o material da semana anterior, momento em que abordamos os sistemas de disposição final. Esta atividade encontra-se no moodle da disciplina.



## 3. SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS

Olá alunos!

Após essas semanas de dedicação e estudo dos conteúdos, vocês merecem relaxar um pouco, mas sem perder o foco da disciplina.

Acessem o link abaixo e ajudem o Bill a organizar seu aterro sanitário, separando corretamente os materiais recicláveis. Mas cuidado com a mira! Cada erro reduz a vida útil do aterro. Boa sorte!

<http://www.ojogos.com.br/jogo/Landfill-Bill.html>

### Prezados (as) alunos (as),

nesta unidade discutiremos o processo de seleção de área para aterro sanitário, os parâmetros e procedimentos necessários para o cálculo das dimensões da área a ser escolhida para a implantação de um aterro sanitário.

### Introdução

A escolha de um local para implantação de aterro deve atender ao planejamento do desenvolvimento econômico, social e urbano da região; as diretrizes fixadas para o uso e ocupação do solo; a proteção da saúde pública e a defesa do meio ambiente.

A primeira etapa de um projeto de aterro sanitário é a escolha de uma área onde ele será implantado e operado. Dessa forma, o sucesso do empreendimento está relacionado diretamente a uma seleção de área embasada em critérios ambientais, técnicos, econômicos, sociais e políticos.

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), a avaliação da adequabilidade de um local a ser utilizado para implantação de um aterro sanitário deve ser tal que os impactos ambientais gerados na sua implantação e operação sejam mínimos. A instalação do aterro deve ser bem aceita pela população vizinha; além disso, é necessário que ele esteja de acordo com o zoneamento local e que possa ser utilizado por longo período de tempo.

A área selecionada deve ser aquela que, dentre outras, melhor possibilite:

- **Menor potencial para geração de impactos ambientais:** Nesse caso, estão excluídos locais em áreas de restrição ambiental; áreas de recarga de aquíferos; solos pouco profundos e sujeitos aos processos de erosão; áreas próximas a habitações, cursos d'água, rede de alta tensão etc.
- **Maior vida útil para o empreendimento:** nesse caso, são preferíveis áreas de baixos custos de instalação e operação do aterro; menores gastos com infra-estrutura; menor distância da zona urbana geradora dos resíduos; disponibilidade de material de cobertura.
- **Aceitabilidade social:** considerar áreas com menor oposição da comunidade vizinha.

## Decisões fundamentais

Duas decisões fundamentais devem ser tomadas antes de iniciar um estudo de possíveis áreas para implantação de um aterro sanitário:

### 1ª Decisão

#### Que tamanho de área (ou população) deverá ser atendida?

Deve-se decidir qual área geográfica o aterro vai atender e quais os resíduos sólidos são aceitos neste aterro. Esses fatores são importantes, pois afetarão a vida útil do aterro; tipos de impactos ambientais; a capacidade volumétrica requerida das áreas candidatas etc.

### 2ª Decisão

#### Quais os critérios locacionais são apropriados?

Uma grande variedade de critérios pode ser aplicada para identificação de áreas para implantação de um aterro sanitário. Vejamos como são definidos esses critérios.

## Critérios de seleção das áreas

A estratégia a ser adotada para a seleção da área do novo aterro consiste nos seguintes passos:

- Seleção preliminar das áreas disponíveis no Município.
- Estabelecimento do conjunto de critérios de seleção.
- Definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos.
- Análise crítica de cada uma das áreas levantadas frente aos critérios estabelecidos e priorizados.
- Seleção da área que atenda à maior parte das restrições através de seus atributos naturais.

### Seleção Preliminar das Áreas Disponíveis

A seleção preliminar das áreas disponíveis no Município deve ser feita da seguinte forma:

- a) Estimativa preliminar da área total do aterro.
- b) Delimitação dos perímetros das regiões rurais e industriais e das unidades de conservação existentes no Município.
- c) Levantamento das áreas disponíveis.
- d) Pré-seleção das áreas disponíveis.

#### a) Estimativa preliminar da área total do aterro

Para o cálculo da área necessária para um aterro são necessários dados como:

- População do município.
- Taxa de crescimento populacional.
- Geração per capita de resíduos.
- Taxa de crescimento da geração per capita de resíduos.
- Características do resíduo como peso específico e composição gravimétrica.
- Abrangência do serviço de coleta.
- Existência de unidades de triagem e reciclagem.
- Material de cobertura dos resíduos.
- Altura das células.

Com esses dados é possível calcular o volume anual de resíduos, a área necessária e o tempo de vida útil do aterro. Para isso, são necessários alguns cálculos apresentados preferencialmente na forma de tabela, como Tabela C4.

Ano	População (hab)	Geração per capita (kg hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	Taxa de crescimento da geração per capita (%)	Serviço de coleta (%)	Geração diária (kg dia <sup>-1</sup> )	Geração anual (t ano <sup>-1</sup> )
A	B	C	D	E	F	G

Resíduos recicláveis (t ano <sup>-1</sup> )	Resíduos dispostos no aterro (t ano <sup>-1</sup> )	Volume de resíduos compactados (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	Volume do material de cobertura (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	Volume total (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	Área de ocupação anual do aterro (m <sup>2</sup> )
H	I	J	L	M	N

Tabela C4: Etapas cálculo da área para implantação de aterro sanitário

Fonte: do autor

- **Coluna A** – Vida útil (anos) do empreendimento.
- **Coluna B** – População do município(s) de estudo considerando a taxa de crescimento populacional.
- **Coluna C** – Geração per capita (Gpc) (dado que pode ser obtido por diferentes maneiras, como foi discutido na Unidade A4).
- **Coluna D** – Taxa de crescimento da geração per capita (TGpc) (valor estimado em função do crescimento econômico, aumento do poder aquisitivo, nível educacional etc.).
- **Coluna E** – Abrangência do serviço de coleta de resíduos do município (SCo) (esse valor pode variar ao longo da vida útil do aterro).
- **Coluna F** – Cálculo da geração diária de resíduos (kg dia<sup>-1</sup>) considerando os valores das colunas B, C,D,e E.

Para o cálculo da geração diária (Gd) utiliza-se a seguinte equação:

$$Gd = \text{População} \cdot [Gpc \cdot (1 + TGpc)] \cdot SCo$$

- **Coluna G** – Geração anual de resíduos (Ga) em tonelada por ano ( $t \text{ ano}^{-1}$ )

$$Ga = \frac{Gd}{1000} * 365$$

- **Coluna H** – Quantidade de resíduos recicláveis (RR) em tonelada por ano. Calculada pelo percentual de resíduos reciclados no município multiplicado pela geração anual de resíduos (Ga)

$$RR = \frac{Ga * \text{Reciclagem}(\%)}{100}$$

- **Coluna I** – Peso de resíduos encaminhados para o aterro (RA) em toneladas por ano

$$\text{Coluna I} = \text{Coluna G} - \text{Coluna H}$$

- **Coluna J** – Volume anual de resíduos compactados no aterro ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ). O volume anual de resíduos é calculado a partir do peso de resíduos encaminhados para o aterro (RA, coluna I) e o peso específico dos resíduos compactados no aterro ( $t \text{ m}^{-3}$ ).
- **Coluna L** – Volume do material de cobertura (Vco) – O Vco é dado pelo percentual de material utilizado por  $m^3$  de resíduo aterrado multiplicado pelo volume de resíduos compactados anualmente como apresentado na equação abaixo:

$$Vco = \frac{Vresiduo * \text{Cobertura}(\%)}{100}$$

- **Coluna M** – Volume total anual de material no aterro (VT), obtido pela soma da coluna J e a coluna L dado em tonelada por ano ( $t \text{ ano}^{-1}$ )
- **Coluna N** – Área de ocupação anual do aterro ( $m^2$ ) – calculada pela relação entre o volume total de material ( $m^3$ ) e a altura da célula ou camada do aterro (m).

### **b) Delimitação dos perímetros das regiões rurais e industriais e das unidades de conservação existentes no Município.**

Estabelecida a área necessária para o aterro, a próxima etapa é delimitar as áreas de proteção ambiental, áreas de nascentes, afloramento do lençol freático, de recarga do aquífero, áreas rurais, urbanas e industriais através de uma análise conjunta de condicionantes técnicos, jurídicos, ambientais, sociais, econômicos e políticos.

Levantamento e análise da legislação municipal, estadual e federal em relação ao uso do solo, áreas urbanas e expansão, plano diretor, áreas de proteção ambiental como mananciais, áreas de preservação.

Todas as restrições identificadas pelo levantamento anterior devem ser mapeadas e marcadas em planta topográfica da região de estudo.

### **Saiba mais**

Pesquise sobre a legislação de seu município a respeito das restrições de áreas para implantação de aterro sanitário.

### c) Levantamento das áreas disponíveis

Em função de critérios como: áreas com dimensões compatíveis com a estimativa realizada, áreas que já pertencem ao Município; áreas próximas ao centro gerador etc. delimitam-se as áreas disponíveis na planta das limitações.

A figura C.12 mostra um exemplo de seleção de área para aterro. Neste exemplo, após a marcação das áreas inadequadas (áreas de preservação, propriedades agrícolas, matas etc.) na planta topográfica delimitou-se um raio de 10 e 20 km do centro de geração com o intuito de avaliar áreas disponíveis próximas aos locais de coleta, reduzindo assim o custo com o transporte e coleta dos resíduos.



A área escolhida deve atender aos quesitos estabelecidos previamente e à decisão tomada pela análise de plantas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Após a identificação de locais mais favoráveis, realiza-se a pesquisa de campo, com os objetivos de avaliar *in situ* possíveis interferências e características de cada local como: dimensões, topografia do local, tipo de solo, afloramento de rocha, nascentes, vegetação do local, distância de curso de água e outras informações relevantes estabelecidas pela equipe de projeto.

**d) Pré-seleção de áreas**

Baseando-se nas informações obtidas em campo, estabelece-se um conjunto de locais mais promissores e que atendam aos requisitos necessários para a implantação do aterro sanitário.

Nessas áreas pré-selecionadas executam-se pesquisas mais detalhadas sobre suas características relacionadas com o solo, geologia, topografia etc.

Na tabela C5 são apresentados os principais estudos realizados para seleção de locais para implantação de aterro.

Estudos	Objetivos
Geológico-geotécnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribuição e características das unidades geológico-geotécnicas da região.</li> <li>- Principais feições estruturais (foliação, falhas e fraturas).</li> <li>- Permeabilidade do solo.</li> <li>- Capacidade de carga do terreno de fundação.</li> </ul>
Pedológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de solo da região.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidade de materiais de empréstimo.</li> </ul>
Topográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação de áreas de morros, planícies, encostas, etc.</li> <li>- Declividade dos terrenos.</li> </ul>
Hidrológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Profundidade do lençol freático.</li> <li>- Padrão de fluxo subterrâneo.</li> <li>- Qualidade das águas subterrâneas.</li> <li>- Riscos de contaminação.</li> <li>- Localização das zonas de recarga das águas subterrâneas.</li> <li>- Principais mananciais de abastecimento público</li> <li>- Áreas de proteção de manancial.</li> </ul>
Climático	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regime de chuvas e precipitação. pluviométrica (série histórica).</li> <li>- Direção e intensidade dos ventos.</li> <li>- Dados de evapotranspiração.</li> </ul>
Arqueológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laudo de existência ou não de sítios de interesse arqueológico.</li> </ul>
Econômicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor da terra.</li> <li>- Uso e ocupação dos terrenos.</li> <li>- Distância da área em relação aos centros atendidos.</li> <li>- Integração a malha viária.</li> <li>- Aceitabilidade da população e de suas entidades organizadas.</li> </ul>

Tabela C5: seleção de locais para implantação de aterro

fonte: do autor

## Resumo

A escolha de um local para implantação de aterro deve atender ao planejamento do desenvolvimento econômico, social e urbano da região; as diretrizes fixadas para o uso e ocupação do solo; a proteção da saúde pública e a defesa do meio ambiente.

Duas decisões fundamentais devem ser tomadas antes de iniciar um estudo de possíveis áreas para implantação de um aterro sanitário:

1ª Decisão - Que tamanho de área (ou população) deverá ser atendida?

2ª Decisão - Quais os critérios locacionais são apropriados?

A estratégia a ser adotada para a seleção da área do novo aterro consiste nos seguintes passos:

- Seleção preliminar das áreas disponíveis no Município.
- Estabelecimento do conjunto de critérios de seleção.
- Definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos.
- Análise crítica de cada uma das áreas levantadas frente aos critérios estabelecidos e priorizados.
- Seleção da área que atenda à maior parte das restrições através de seus atributos naturais.

A seleção preliminar das áreas disponíveis no Município deve ser feita da seguinte forma:

- a) Estimativa preliminar da área total do aterro.
- b) Delimitação dos perímetros das regiões rurais e industriais e das unidades de conservação existentes no Município.
- c) Levantamento das áreas disponíveis.
- d) Pré-seleção das áreas disponíveis.

Para o cálculo da área necessária para aterro sanitário, devemos determinar:

- População do município.
- Taxa de crescimento populacional.
- Geração per capita de resíduos.
- Taxa de crescimento da geração per capita de resíduos.
- Características do resíduo como peso específico e composição gravimétrica.
- Abrangência do serviço de coleta.
- Existência de unidades de triagem e reciclagem.
- Material de cobertura dos resíduos.
- Altura das células.

## Parada obrigatória

### Exercício de cálculo de volume do aterro sanitário

Utilizando as equações, e tomando como modelo a tabela C5, defina a área necessária para implantar um novo aterro sanitário com as seguintes características:

- População atual do município: 150.000 hab
- Geração per capita: 0,85 kg/hab.dia
- Cobertura de coleta atual: 85 %
- A cobertura de coleta passará a ser de 100 % a partir do 6o ano de operação do aterro
- Vida útil mínima do Aterro: 10 anos
- Taxa de crescimento populacional: 0,85 % ao ano
- Taxa de aumento da geração per capita: 1 % a.a.
- Dias úteis por ano: 313 dias (excluídos os domingos)
- Peso específico dos resíduos compactados no Aterro: 0,8 t/m<sup>3</sup>
- Altura da célula de 4 metros
- Volume de terra para cobertura: 15 % do volume de resíduos)



## 3. SELEÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS

### CONTINUAÇÃO

Olá alunos e alunas!

Nesta subunidade vamos estudar os critérios para a seleção de áreas para aterros, mas antes de iniciarmos o estudo do conteúdo vamos realizar uma atividade.

A seguir encontram-se cinco áreas de um município hipotético, propícias para a implantação de um aterro sanitário. A proposta da atividade consiste em analisar quais das cinco áreas podem realmente ser selecionadas, segundo os critérios que você achar importantes. Justifique sua resposta para cada área e vamos discutir sua escolha no Fórum

Guarde as suas respostas, pois a mesma atividade será retomada após a leitura e o estudo do conteúdo desta subunidade.

Boa Atividade

### Área 1

#### Condições físicas:

- perfil do solo: arenoso com 4 m de espessura;
- condutividade hidráulica do solo:  $10^{-3}$  –  $10^{-4}$  cm/s;
- declividade: 12%;
- lençol freático a 3 m de profundidade;
- presença de curso d'água na vizinhança, distância de 150 m;
- baixo potencial hídrico;
- 30 ha de área disponível.

#### Condições bióticas:

- vegetação rasteira (campo sujo) em toda a área;
- pequena presença de fauna.

#### Condições antrópicas:

- uso para agricultura em toda a área, com a presença de benfeitorias de um dos proprietários;
- distância de 1.500 m do núcleo populacional mais próximo;
- área pertencente a três proprietários;
- distância de via federal: 657 m;
- encontra-se próximo a essa área um aeródromo.

---



---



---



---



---



---



---

## Área 2

### Condições físicas:

perfil do solo argiloso com 1,7 m de espessura,  
condutividade hidráulica do solo: 10-5 – 10-6 cm/s;  
Declividade: 21%;  
lençol freático a 5 m de profundidade;  
presença de curso d'água na vizinhança, distância de 250 m;  
alto potencial hídrico;  
25 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

vegetação: 1/3 de mata tropical e 2/3 de vegetação rasteira;  
presença de animais raros.

### Condições antrópicas:

distância de 1120 m do núcleo populacional mais próximo;  
área que pertence ao município;  
distância de via estadual: 500 m.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Área 3

### Condições físicas:

perfil do solo argilo-arenoso com 3,5 m de espessura;  
condutividade hidráulica do solo: 10-4 – 10-5 cm/s;  
declividade: 12%;  
lençol freático a 1,5 m de profundidade;  
presença de curso d'água na vizinhança, distância de 554 m;  
médio potencial hídrico;  
45 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

vegetação 70% de mata tropical;  
presença média de fauna.

### Condições antrópicas:

área para pastagem de animais;  
distância de 600 m do núcleo populacional mais próximo;  
pertence a um proprietário;  
distância de via federal: 300 m.

---

---

## Área 4

### Condições físicas:

- perfi I do solo areno-argiloso com 3,8 m de espessura,
- declividade: 8%;
- lençol freático a 2 m de profundidade;
- presença de curso d'água na vizinhança, distância de 800 m;
- médio potencial hídrico;
- 20 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

- vegetação rasteira;
- pequena presença de fauna.

### Condições antrópicas:

- distância de 300 m do núcleo populacional mais próximo;
- área pertencente ao município;
- distância de via estadual: 750 m.

## Área 5

### Condições físicas:

- perfi I do solo argiloso com 2 m de espessura,
- Condutividade hidráulica do solo: 10-5 cm/s;
- Declividade: 2%;
- lençol freático a 1,1 m de profundidade;
- presença de curso d'água na vizinhança, distância de 1000 m;
- baixo potencial hídrico;
- 23 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

- vegetação do tipo cerrado com espécies raras;
- média presença de fauna.

**Condições antrópicas:**

área de cultivo agrícola, com presença de benfeitorias dos proprietários;  
 distância de 1200 m do núcleo populacional mais próximo;  
 dois proprietários;  
 distância de via municipal: 950 m.

**Então, aluno(a), como foi a atividade? Os critérios escolhidos são suficientes para a seleção de locais para aterros? Existe(m) critério(s) mais importante(s)? Como você os determina e estabelece? Quando se tem mais de uma área possível, como saber em qual haverá danos ambientais de baixo impacto?**

**Introdução**

Olá pessoal. Nesta subunidade vamos estudar o processo de seleção de área para implantação de um aterro sanitário. Inicialmente vamos discutir o estabelecimento de critérios locacionais e, posteriormente, o método para seleção do local mais adequado para implantação do aterro.

O processo de seleção de áreas visa aos seguintes objetivos:

- Minimizar a possibilidade de existência de impactos ambientais negativos aos meios físico, biótico e antrópico.
- Minimizar os custos envolvidos.
- Minimizar a complexidade técnica para viabilização do aterro.
- Maximizar a aceitação pública ao encontro dos interesses da comunidade.

A estratégia a ser adotada para a seleção da área do novo aterro consiste nos seguintes passos:

1. seleção preliminar das áreas disponíveis no Município;
2. estabelecimento do conjunto de critérios de seleção;
3. definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos;
4. análise crítica de cada uma das áreas levantadas frente aos critérios estabelecidos e priorizados;
5. seleção da área que atenda à maior parte das restrições através de seus atributos naturais.

## Estabelecimento do conjunto de critérios de seleção

São muitos os critérios de engenharia utilizados na escolha de áreas para disposição final de resíduos sólidos. Esses critérios estão agrupados em: critérios ambientais, critérios que consideram o uso e a ocupação do solo e critérios operacionais.

Da análise equilibrada e da inter-relação de todos esses fatores surgirão as alternativas para alocação coerente de áreas para disposição dos resíduos sólidos e para a sua gestão no âmbito municipal, integrando os métodos tradicionais com as novas tecnologias de caracterização e análise ambiental.

Os critérios adotados para o processo de seleção de área podem ser divididos em três grupos: técnicos, econômico-financeiros e político-sociais.

### Critérios Técnicos

A seleção de uma área para servir de aterro sanitário à disposição final de resíduos sólidos domiciliares deve atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pelas normas da ABNT (NBR 10.157) e pela legislação federal, estadual e municipal.

#### Saiba mais

As normas da ABNT que tratam sobre os critérios para projeto, construção e operação são: NBR 13896/97 – Aterros de Resíduos Não Perigosos e NBR 10157/87 – Aterros de Resíduos Perigosos

Os condicionantes e restrições relativos às normas da ABNT (NBR 13896/97 e NBR 10157/87) estão resumidamente abaixo listados a seguir.

- **Uso do solo** - As áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
- **Proximidade a cursos d'água relevantes** - As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceano. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam ao sistema de drenagem municipal ou estadual.
- **Proximidade a núcleos residenciais urbanos** - As áreas não devem se situar a menos de mil metros de núcleos Residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
- **Proximidade a aeroportos** - As áreas de aterros não devem situar-se próximas a aeroportos ou aeródromos, a fim de evitar acidentes (Figura C.12) e devem respeitar a legislação em vigor.



Figura C.13 - Acidente aéreo ocasionado pelo impacto de ave na aeronave  
 Fonte: <http://pardaloco.blogspot.com/2009/07/acidente-com-aves.html>

A resolução do CONAMA no 04 (BRASIL,1995<sup>1</sup>) estabelece as áreas de segurança aeroportuárias (ASAs)

Esse resolução estabelece:

*“Art. 1º São consideradas “Área de Segurança Aeroportuária - ASA” as áreas abrangidas por um determinado raio a partir do “centro geométrico do aeródromo”, de acordo com seu tipo de operação, divididas em 2 (duas) categorias:*

*I - raio de 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de vôo por instrumento (IFR); e*

*II - raio de 13 km para os demais aeródromos.*

*Parágrafo único. No caso de mudança de categoria do aeródromo, o raio da ASA deverá se adequar à nova categoria.*

*Art. 2º Dentro da ASA não será permitida implantação de atividades de natureza perigosa, entendidas como “foco de atração de pássaros”. Por exemplo, matadouros, curtumes, vazadouros de lixo, culturas agrícolas que atraem pássaros, assim como quaisquer outras atividades que possam proporcionar riscos semelhantes à navegação aérea.”*

- **Distância do lençol freático** - As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são as seguintes:
  - Para aterros com impermeabilização inferior, através de manta plástica sintética, a distância do lençol freático à manta não poderá ser inferior a 1,5 metros.
  - Para aterros com impermeabilização inferior, através de camada de argila, a distância do lençol freático à camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros e a camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que 10-6cm/s.
- **Vida útil mínima** - É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, dez anos de vida útil.
- **Permeabilidade do solo Natural** - É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilida-

<sup>1</sup> BRASIL, Resolução 04 do Conselho Nacional de Meio Ambiente –CONAMA de 9 de outubro de 1995. Dispõe sobre Área de Segurança Aeroportuária – ASA. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil), Brasília, DF, p. 20.388, data 11/12/1995.

de natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.

- **Extensão da bacia de drenagem** – A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro.
- **Facilidade de acesso a veículos pesados** - O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento, mesmo na época de chuvas muito intensas.
- **Disponibilidade de material de cobertura** - Preferencialmente, o terreno deve possuir ou se situar próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura do lixo a baixo custo.

## Saiba mais

É importante salientar o aspecto de vida útil do aterro, uma vez que é grande a dificuldade de se encontrar novos locais próximos ao centro gerador, em virtude da rejeição natural que a população tem de morar perto de um local de disposição de lixo. Esse comportamento é chamado de efeito NIMBY- Not in my back Yard (não no meu jardim)

## Critérios econômicos e financeiros

- **Distância ao centro geométrico de coleta** - É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do lixo.
- **Custo de aquisição do terreno** - Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
- **Custo de investimento em construção e infra-estrutura** - É importante que a área escolhida disponha de infra-estrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
- **Custos com a manutenção do sistema de drenagem** - A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

## Critérios Político-Sociais

- **Distância de núcleos urbanos de baixa renda** - Aterros são locais que atraem pessoas desempregadas, de baixa renda ou sem outra qualificação profissional, que buscam a catação do lixo como forma de sobrevivência e que passam a viver desse tipo de trabalho em condições insalubres, gerando, para a prefeitura, uma série de responsabilidades sociais e políticas. Por isso, caso a nova área se localize próxima a núcleos urbanos de baixa renda, deverão ser criados mecanismos alternativos de geração de emprego e/ou renda que minimizem as pressões sobre a administração do aterro em busca da oportunidade de catação. Entre tais mecanismos poderão estar iniciativas de incentivo à formação de cooperativas de catadores, que podem trabalhar em instalações de reciclagem dentro do próprio aterro ou mesmo nas ruas da cidade, de forma organizada, fiscalizada e incentivada pela prefeitura.
- **Acesso à área através de vias com baixa densidade de ocupação** - O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde estes veículos passam, sendo desejável que o acesso à área do aterro passe por locais de baixa densidade demográfica
- **Inexistência de problemas com a comunidade local** - É desejável que, nas proximidades da área selecionada, não tenha havido nenhum tipo de problema da prefeitura com a comunidade local, com organizações não-governamentais (ONG's) e com a mídia, pois esta indisposição com o poder público irá gerar reações negativas à instalação do aterro.

## Priorização dos critérios de seleção

Na sequência, apresenta-se uma sugestão de metodologia para a priorização de área em avaliação para a implantação de um aterro.

A critério da equipe técnica responsável pelo processo de escolha da área, e de maneira justificada, estabelece-se a prioridade de atendimento dos critérios técnicos, econômicos e políticos sociais como apresentado na Tabela (C4).

A ordem de prioridade aqui proposta pode ser alterada, sendo que sempre a prioridade de ordem mais elevada é aquela que diz respeito ao atendimento das exigências legais.

Critério	Prioridade
Atendimento à legislação ambiental	1
Atendimento aos critérios político-sociais	2
Atendimento aos principais critérios econômicos	3
Atendimento aos principais critérios técnicos	4
Atendimento aos demais critérios econômicos	5
Atendimento aos demais critérios técnicos	6

Tabela C4: Hierarquização dos critérios

Fonte: do autor

## Seleção da melhor área

O local selecionado para se implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios, dando-se ênfase aos critérios de maior prioridade. A seleção da melhor área para implantação do aterro sanitário deve ser precedida de uma análise individual de cada área selecionada com relação a cada um dos diversos critérios apresentados, fornecendo-se a justificativa que permita considerar o critério “totalmente atendido”, o “atendido parcialmente através de obras” ou o “não atendido”.

Quando os atributos naturais do terreno selecionado não forem suficientes para atender integralmente ao critério analisado, tais deficiências deverão ser sanadas através da implementação de soluções da moderna engenharia, de forma a que o critério seja atendido. Para que se possa efetuar a escolha da melhor área, é necessário que se fixem pesos, tanto para as prioridades, quanto para o atendimento aos critérios selecionados, como exemplificado na Tabela C5.

Aqui também, os pesos podem ser alterados de acordo com os especialistas envolvidos na tomada de decisão de buscas das áreas.

Para a escolha da melhor área, é necessário o estabelecimento de pesos, para as prioridades e para o atendimento aos critérios selecionados (Tabela C5).

<b>Prioridade dos critérios</b>	<b>Peso</b>
1	10
2	6
3	4
4	3
5	2
6	1
<b>Tipo de atendimento</b>	<b>Peso</b>
Total(T)	100%
Parcial (P)	50%
Não atendido (N)	0%

Tabela C5: Pesos dos critérios e tipos de atendimento

Fonte: do autor

## Escolha da melhor área

Será considerada melhor área aquela que obtiver o maior número de pontos após a aplicação dos pesos às prioridades e ao atendimento dos critérios. Para melhor entendimento, é apresentado o exemplo de um Município que deve escolher entre três áreas selecionadas, com as características fornecidas na Tabela C6.

Critérios	Prioridade	Atendimento		
		Área 1	Área 2	Área 3
Proximidade a cursos d'água	1	T	T	T
Proximidade a núcleos residenciais	1	T	P	T
Proximidade a aeroportos	1	P	T	T
Distância do lençol freático	1	P	P	T
Distância de núcleos de baixa renda	2	T	T	P
Vias de acesso com baixa ocupação	2	P	P	P
Problemas com a comunidade	2	N	P	T
Aquisição do terreno	3	P	P	T
Investimento em infraestrutura	3	T	T	P
Vida útil mínima	4	P	T	T
Uso do solo	4	T	T	T
Permeabilidade do solo natural	4	P	P	P
Extensão da bacia de drenagem	4	P	P	T
Acesso a veículos pesados	4	T	P	P
Material de cobertura	4	N	P	T
Manutenção do sistema de drenagem	5	P	P	T
Distância ao centro de coleta	6	T	P	P

*T – Atende Totalmente; P – Atende Parcialmente, N – Não atende*

Tabela C6: Nível de atendimento das prioridades

Fonte: do autor

A seleção da melhor área para implantação do aterro sanitário deve ser precedida de uma análise individual de cada área selecionada com relação a cada um dos diversos critérios apresentados, fornecendo-se

a justificativa que permita considerar o critério “totalmente atendido”, o “atendido parcialmente através de obras” ou o “não atendido”.

A Tabela C7 apresenta o resultado obtido pela somatória da pontuação de cada área e os níveis de atendimento de cada critério.

Critérios	Pontos da Prioridade	Pontos de atendimento (%)			Pontuação das áreas		
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 1	Área 2	Área 3
Proximidade a cursos d'água	10	100	100	100	10	10	10
Proximidade a núcleos residenciais	10	100	50	100	10	5	10
Proximidade a aeroportos	10	50	100	100	5	10	10
Distância do lençol freático	10	50	50	100	5	5	10
Distância de núcleos de baixa renda	6	100	100	50	6	6	3
Vias de acesso com baixa ocupação	6	50	50	50	3	3	3
Problemas com a comunidade	6	0	50	100	0	3	6
Aquisição do terreno	4	50	50	100	2	2	4
Investimento em infraestrutura	4	100	100	50	4	4	2
Vida útil mínima	3	50	100	100	1,5	3	3
Uso do solo	3	100	100	100	3	3	3
Permeabilidade do solo natural	3	50	50	50	1,5	1,5	1,5
Extensão da bacia de drenagem	3	50	50	100	1,5	1,5	3
Acesso a veículos pesados	3	100	50	50	3	1,5	1,5
Material de cobertura	3	0	50	100	0	1,5	3
Manutenção do sistema de drenagem	2	50	50	100	1	1	2
Distância ao centro de coleta	1	100	50	50	1	0,5	0,5
<b>Pontuação Final</b>					62	62	76

Tabela C7: Análise quantitativa das áreas pré-determinadas

Fonte: do autor

O local selecionado para implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios, dando-se ênfase aos critérios de maior prioridade (tabela C7). Neste exemplo, a área mais indicada é área 3.

Nesse caso, deve-se realizar a etapa de elaboração do projeto e solicitação da licença ambiental.

A seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos pode empregar ferramentas modernas, como é o caso do geoprocessamento, onde se observa importante melhora na qualidade dos resultados e facilidades em toda a operação. A área de conhecimento denominada geoprocessamento, utiliza na manipulação de informação georreferenciada diferentes técnicas, instrumentos, hardware e software, de forma a coletar, armazenar e processar dados geocodificados. A ferramenta de maior destaque dentro do geoprocessamento é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), e provavelmente por essa razão muitas vezes os termos são utilizados como sinônimos, sendo que na verdade o segundo está contido no primeiro (GOMES et al., 2001). Na ausência das ferramentas de geoprocessamento, esta etapa pode ser realizada aplicando-se em uma análise manual os mesmos critérios. O uso do geoprocessamento implica apenas aceleração do processo, não sendo, contudo, exigência básica.

### Saiba mais

Para saber mais sobre o uso do geoprocessamento na determinação de áreas para aterro, leia o artigo “Método para a Seleção de Áreas para a Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos”. Disponível na biblioteca virtual.

## Resumo

A estratégia a ser adotada para a seleção da área do novo aterro consiste nos seguintes passos:

1. seleção preliminar das áreas disponíveis no Município;
2. estabelecimento do conjunto de critérios de seleção;
3. definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos;
4. análise crítica de cada uma das áreas levantadas frente aos critérios estabelecidos e priorizados;
5. Seleção da área que atenda à maior parte das restrições através de seus atributos naturais.

### Seleção preliminar das áreas disponíveis

O quadro abaixo apresenta os principais critérios classificados de acordo com sua especificidade

CRITÉRIOS	TIPOS
<b>Técnicos</b>	Uso do solo; Proximidade dos cursos d'água relevantes; Proximidade a núcleos residenciais urbanos; Proximidade a aeroportos; Distância do lençol freático; Vida útil mínima; Permeabilidade do solo natural; Extensão da bacia de drenagem; Facilidade de acesso a veículos pesados; Disponibilidade de material de cobertura.
<b>Econômicos</b>	Distância ao centro geométrico de coleta; Custo de aquisição do terreno; Custo de investimento em construção e infra-estrutura; Custos com a manutenção do sistema de drenagem.
<b>Sócio-Políticos</b>	Distância de núcleos urbanos de baixa renda; Acesso à área através de vias com baixa densidade de ocupação; Inexistência de problemas com a comunidade local.

Tabela C8: Critérios e sua classificação

Fonte: do autor

No quadro a seguir são apresentados critérios técnicos segundo as normas NBR 13896 e NBR 10157 NBR 13896/97 (Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação). NBR 10157/87 (Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação).

ITEM	NBR 13896/97	NBR 10157/87
Topografia do terreno (declividade)	1 a 30% (> 30% a critério do OCA)	1 a 20%
Distância mínima entre a base do aterro e o lençol freático	1,5 m	
Coeficiente de permeabilidade do material predominante no subsolo	< 5 x 10 <sup>-5</sup> cm/s (até 10 <sup>-4</sup> cm/s a critério do OCA)	5 x 10 <sup>-5</sup> cm/s
Distância mínima de coleção hídrica	200 m (alterada a critério do OCA)	
Vida útil mínima	10 anos (recomendado)	
Distância mínima de núcleos populacionais	500 m (recomendado)	
Período de recorrência da área sujeita a inundação	100 anos	
Número mínimo de poços de monitoramento de águas subterrâneas	4 (1 a montante e 3 a jusante no sentido do fluxo de deslocamento do lençol freático)	
Período de monitoramento de águas subterrâneas	20 anos após fechamento	
Impermeabilização artificial do terreno	Obrigatória se o coeficiente de permeabilidade for superior a 10 <sup>-6</sup> cm/s e a zona não saturada for inferior a 3m	Obrigatório
Sistema de drenagem de líquidos percolados	- instalado imediatamente acima da impermeabilização - evitar a formação de lâminas de percolado superior a 30 cm	
Sistema de tratamento de líquidos percolados	- pode ser dispensado a critério do OCA - monitoramento mínimo trimestral	
Sistema de drenagem de águas superficiais	Suportar chuva de picos de 5 anos	Suportar chuva de pico de 25 anos
Sistema de detecção de vazamentos	Obrigatório (dispensado a critério do OCA)	Obrigatório
Captação e tratamento de emissões gasosas	Obrigatório	

OCA – Órgão de Controle Ambiental

Tabela C9: Critérios técnicos  
Fonte: NBR 13896 e NBR 10157



## Atividade - Seleção de Área

Caro aluno(a) retome a atividade realizada no início dessa unidade e refaça a sua análise do local a ser escolhido para implantação do aterro sanitário, mas desta vez utilizando a metodologia abordada nesse conteúdo, adote os passos do método apresentado e discuta os resultados encontrados no Fórum.

Prioridade dos critérios	Peso
1	10
2	6
3	4
4	3
5	2
6	1
Tipo de atendimento	Peso
Total(T)	100%
Parcial (P)	50%
Não atendido (N)	0%

Critérios	Prioridade	Atendimento				
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
Proximidade a cursos d'água	1					
Proximidade a núcleos residenciais	1					
Proximidade a aeroportos	1					
Distância do lençol freático	1					
Distância de núcleos de baixa renda	2					
Vias de acesso com baixa ocupação	2					
Problemas com a comunidade	2					
Aquisição do terreno	3					
Investimento em infraestrutura	3					
Vida útil mínima	4					
Uso do solo	4					
Permeabilidade do solo natural	4					
Extensão da bacia de drenagem	4					
Acesso a veículos pesados	4					
Material de cobertura	4					
Manutenção do sistema de drenagem	5					
Distância ao centro de coleta	6					

Tabela: Nível de atendimento das prioridades

Critérios	Pontos da Prioridade	Pontos de atendimento (%)					Pontuação das áreas							
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5			
Proximidade a cursos d'água														
Proximidade a núcleos residenciais														
Proximidade a aeroportos														
Distância do lençol freático														
Distância de núcleos de baixa renda														
Vias de acesso com baixa ocupação														
Problemas com a comunidade														
Aquisição do terreno														
Investimento em infraestrutura														
Vida útil mínima														
Uso do solo														
Permeabilidade do solo natural														
Extensão da bacia de drenagem														
Acesso a veículos pesados														
Material de cobertura														
Manutenção do sistema de drenagem														
Distância ao centro de coleta														
Pontuação Final														



## Atividade - Implantação de aterro sanitário

Olá alunos e alunas!

Nesta subunidade vamos estudar os critérios para a seleção de áreas para aterros, mas antes de iniciarmos o estudo do conteúdo vamos realizar uma atividade.

A seguir encontram-se cinco áreas de um município hipotético, propícias para a implantação de um aterro sanitário. A proposta da atividade consiste em analisar quais das cinco áreas podem realmente ser selecionadas, segundo os critérios que você achar importantes. Justifique sua resposta para cada área e vamos discutir sua escolha no Fórum

Guarde as suas respostas, pois a mesma atividade será retomada após a leitura e o estudo do conteúdo desta subunidade.

Boa Atividade

### Área 1

#### Condições físicas:

- perfil do solo: arenoso com 4 m de espessura;
- condutividade hidráulica do solo: 10-3 – 10-4 cm/s;
- declividade: 12%;
- lençol freático a 3 m de profundidade;
- presença de curso d'água na vizinhança, distância de 150 m;
- baixo potencial hídrico;
- 30 ha de área disponível.

#### Condições bióticas:

- vegetação rasteira (campo sujo) em toda a área;
- pequena presença de fauna.

#### Condições antrópicas:

- uso para agricultura em toda a área, com a presença de benfeitorias de um dos proprietários;
- distância de 1.500 m do núcleo populacional mais próximo;
- área pertencente a três proprietários;
- distância de via federal: 657 m;
- encontra-se próximo a essa área um aeródromo.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Área 2

### Condições físicas:

perfil do solo argiloso com 1,7 m de espessura,  
condutividade hidráulica do solo: 10-5 – 10-6 cm/s;  
Declividade: 21%;  
lençol freático a 5 m de profundidade;  
presença de curso d'água na vizinhança, distância de 250 m;  
alto potencial hídrico;  
25 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

vegetação: 1/3 de mata tropical e 2/3 de vegetação rasteira;  
presença de animais raros.

### Condições antrópicas:

distância de 1120 m do núcleo populacional mais próximo;  
área que pertence ao município;  
distância de via estadual: 500 m.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Área 3

### Condições físicas:

perfil do solo argilo-arenoso com 3,5 m de espessura;  
condutividade hidráulica do solo: 10-4 – 10-5 cm/s;  
declividade: 12%;  
lençol freático a 1,5 m de profundidade;  
presença de curso d'água na vizinhança, distância de 554 m;  
médio potencial hídrico;  
45 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

vegetação 70% de mata tropical;  
presença média de fauna.

### Condições antrópicas:

área para pastagem de animais;  
distância de 600 m do núcleo populacional mais próximo;  
pertence a um proprietário;  
distância de via federal: 300 m.

---

---

---

---

## Área 4

### Condições físicas:

perfi I do solo areno-argiloso com 3,8 m de espessura,  
declividade: 8%;  
lençol freático a 2 m de profundidade;  
presença de curso d'água na vizinhança, distância de 800 m;  
médio potencial hídrico;  
20 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

vegetação rasteira;  
pequena presença de fauna.

### Condições antrópicas:

distância de 300 m do núcleo populacional mais próximo;  
área pertencente ao município;  
distância de via estadual: 750 m.

## Área 5

### Condições físicas:

perfi I do solo argiloso com 2 m de espessura,  
Condutividade hidráulica do solo: 10-5 cm/s;  
Declividade: 2%;  
lençol freático a 1,1 m de profundidade;  
presença de curso d'água na vizinhança, distância de 1000 m;  
baixo potencial hídrico;  
23 ha de área disponível.

### Condições bióticas:

vegetação do tipo cerrado com espécies raras;  
média presença de fauna.

### Condições antrópicas:

área de cultivo agrícola, com presença de benfeitorias dos proprietários;  
distância de 1200 m do núcleo populacional mais próximo;  
dois proprietários;  
distância de via municipal: 950 m.

**Então, aluno(a), como foi a atividade? Os critérios escolhidos são suficientes para a seleção de locais para aterros? Existe(m) critério(s) mais importante(s)? Como você os determina e estabelece? Quando se tem mais de uma área possível, como saber em qual haverá danos ambientais de baixo impacto?**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## 4. PROJETO E IMPLANTAÇÃO

Olá pessoal! Nesta subunidade estudaremos os métodos construtivos de aterros sanitários, suas características e peculiaridades. Além disso, vamos abordar o processo de construção das células de resíduos e o projeto geométrico em aterros.

Bom estudo a todos!

### Projeto e implantação

A implantação de aterros sanitários pode ser entendida como um projeto de construção de engenharia civil em que a maior fonte de material que forma o “solo” são resíduos sólidos. Muitas das habilidades requeridas para planejar, projetar e executar um projeto de aterro sanitário são semelhantes às necessárias em um projeto de construção de rodovia.

Outra área tecnológica que se aproxima muito das operações que ocorrem num aterro é a mineração. Pode-se ver a implantação e a operação de um aterro sanitário como sendo um projeto de mineração ao contrário. Ou seja, na mineração tem-se um morro ou uma determinada leva de terra e a cada dia retira-se uma parcela de material (argila, brita, carvão mineral, etc.) e transporta-se para uso nas cidades. No caso do aterro sanitário, a cada dia coleta-se uma quantidade de resíduos na cidade e transporta-se para uma determinada área, onde são compactados, dando forma a um morro.

O projeto de um aterro sanitário deve minimizar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente em caso de falhas na construção ou operação, assegurando o atendimento aos padrões de projeto. Geralmente, isso implica assumir níveis de segurança mínimo para:

- a continuidade de fornecimento de energia e combustíveis no local;
- a operação e a manutenção de equipamentos sofisticados ou caros;
- a operação e manutenção de bombas, misturadores, e outros equipamentos elétricos ou mecânicos associados com controle de lixiviados e biogás;
- a integridade de longo prazo dos sistemas artificiais de impermeabilização da base.

## 5. MÉTODOS CONSTRUTIVOS DO ATERRO SANITÁRIO

Existem basicamente três métodos construtivos utilizados com frequência no Brasil. O método da **trincheira**, da **rampa** e da **área**.

A escolha de cada um desses métodos dependerá da topografia do terreno, do tipo de solo e da profundidade do lençol freático.

### Método da trincheira ou valas

É a técnica mais apropriada para os terrenos planos ou pouco inclinados e em locais onde o lençol freático localiza-se abaixo de 3 metros de profundidade.

O método consiste na abertura de trincheiras ou valas no solo, cujos resíduos são dispostos no fundo, compactados e posteriormente recobertos com o material retirado da escavação, como você pode observar na Figura C.14.



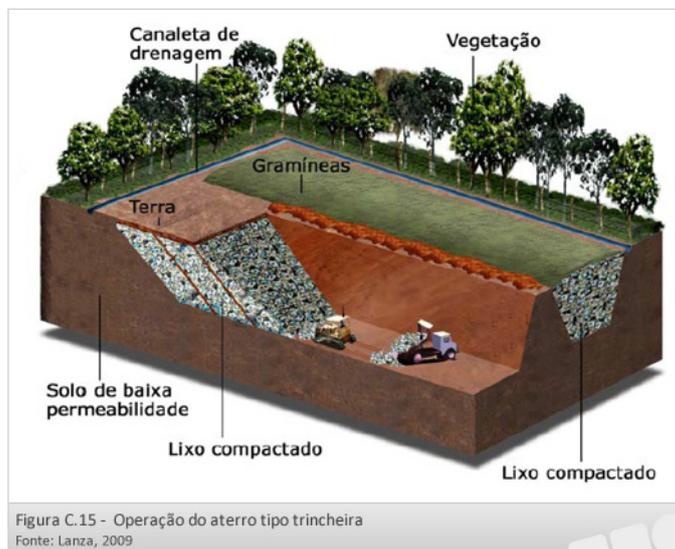
As trincheiras variam de 30m a 120m de comprimento por 4,5m a 7,5m de largura e 1,20m a 1,80m de profundidade. O comprimento é função da quantidade de resíduos a ser disposta em determinado período de tempo (geralmente três meses).

As trincheiras podem ser executadas na forma retangular ou trapezoidal, com taludes cuja inclinação depende das características de estabilidade do solo.

No início da construção, uma parte da trincheira é escavada, sendo o material retirado empilhado para formar um dique atrás da primeira trincheira. Os resíduos são, então, colocados na trincheira, espalhados em camadas finas de 0,45m a 0,60m, compactados, continuando-se a operação até o final do dia de trabalho. No final do expediente, os resíduos são cobertos com uma camada de 15cm de terra retirada da escavação da vala. Nesse método, o monitoramento deve ser realizado por meio de poços com profundidade média de 6m (Figura C.15).

Em alguns casos, escavações abaixo do nível do freático podem ser feitas, desde que seja providenciado o rebaixamento permanente deste nível.

A forma de compactação pode ser manual ou mecânica, sendo esta última a forma mais utilizada em pequenas comunidades.



Algumas técnicas recomendadas na literatura para municípios de pequeno porte são: aterros em valas, aterro simplificado e aterro manual. O principal objetivo dessas formas de disposição final é a confinamento de resíduos sólidos associada a procedimentos operacionais simplificados e ao uso do método de escavação por trincheiras.

Os aterros tipo trincheira devem estar situados a uma distância de 200m dos corpos de água; os ventos predominantes devem ser no sentido cidade-vala; estar a uma distância de 5km dos aglomerados populacionais; para cidades abaixo de 20.000 habitantes; manter a área cercada; fazer a impermeabilização de fundo.

### Parada obrigatória

Assista ao vídeo sobre a construção de uma trincheira para disposição de resíduos industriais (Classe I, NBR 1004, 2004). Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=xnz64yRQ-5A&feature=youtu.be>>

### Saiba mais

Visualize fotos de trincheiras utilizadas para disposição de resíduos urbanos. Disponível em: <<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/uc/5/index.html>>

### Dica

Leia o trabalho realizado por Junior Castilhos (2003) sobre Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabArmando.pdf>>

## Método da rampa, depressão ou encosta

Esse método é indicado quando a área escolhida para o aterro é plana e apresenta um tipo de solo adequado para ser escavado e servir como material de cobertura. A permeabilidade do solo e a profundidade do lençol freático confirmarão ou não o uso dessa técnica.

Em geral, esse método é utilizado em áreas degradadas como cavas de mineração, saibreiras e pedreiras e também em depressões naturais.

Dentre os três métodos este se apresenta como mais vantajoso em termos econômicos, pois economiza o transporte de material de cobertura de fora do sistema. O método da rampa é ilustrado na Figura C.16.



Figura C.16 - Método da rampa  
Fonte: Lanza, 2009

Alguns cuidados devem ser tomados na aplicação desse método, sendo um deles o de manter uma distância mínima de 2 metros entre o fundo da escavação e o lençol freático.

O material escavado deve permitir a formação de um talude consistente que resista à compactação.

As técnicas de disposição e compactação dos resíduos em aterros em depressões variam com a geometria do local, as características do material de cobertura disponível, a hidrologia e geologia do local, os sistemas de controle de lixiviado e de gases utilizados, e do acesso ao local.

Como regra geral, a disposição de cada camada ou patamar de resíduos inicia-se na parte de montante da depressão e finda na boca ou parte mais baixa, de modo a evitar o acúmulo de água atrás do aterro. O preenchimento do aterro dá-se em múltiplas camadas, e o método de operação é muito similar ao do método da área, como pode ser observado na Figura C.17.



Aterros em pedreiras desativadas podem não dispor de quantidades suficientes de material para cobertura diária, assim, o material deverá ser importado de fora da área. Nesse caso, composto produzido de resíduos domiciliares ou de material verde pode ser utilizado para cobertura diária.

Os aspectos que influenciam as técnicas construtivas e sistemas operacionais de aterros de encosta estão relacionados à:

- necessidade de isolar e drenar águas de nascentes ou de potenciais afloramentos do lençol freático durante as escavações;
- maior preocupação com sistemas de drenagem superficial, devido ao maior afluxo de água durante períodos chuvosos;
- maior área de impermeabilização de fundação por volume de material disposto;
- maior preocupação em controlar eventuais acidentes que possam gerar a contaminação do lençol freático;
- necessidade de implantação de sistemas de drenagem interna de percolados e gases mais complexos;
- maior movimentação de terra, por necessitar de escavações de regularização de encostas;
- possibilidade de implantação de acessos construtivos e definitivos fora do corpo do aterro;
- menor exposição do maciço do aterro, melhorando dessa maneira aspectos ligados à inserção visual das atividades de operação.

## Saiba mais

Visualize fotos de aterros em áreas de mineração e encostas.. Disponível em:  
<<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/uc/5/index.html>>

## Método da área ou planície

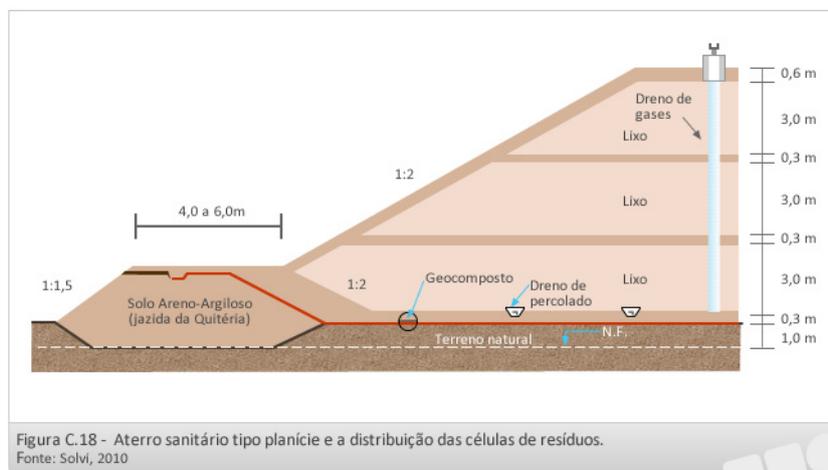
Esse método é recomendado para áreas planas quando o lençol freático encontra-se na profundidade limite de 1,5 metros, conforme a NBR 13896/97. Dessa forma, dificilmente o solo do local pode ser escavado e utilizado como cobertura.

Os aspectos que mais influenciam as técnicas construtivas e os sistemas operacionais desse método estão relacionados com:

- a necessidade de importe de solo para o recobrimento diário e final;

- a obrigatoriedade de implantação de vias de acesso no próprio corpo do aterro;
- maiores áreas de implantação;
- maior camada de revestimento final;
- maior facilidade para implantação de sistemas de drenagem superficial de águas e de drenagem interna de percolados e gases;
- maior facilidade de reaproveitamento do biogás;
- maior facilidade de futura mineração do aterro.

Operacionalmente, os resíduos sólidos são descarregados e espalhados ao longo da área prelimitada, em faixas estreitas superficiais numa série sucessiva de camadas que variam em espessura na faixa de 0,40m a 0,75m. Cada camada é devidamente compactada à medida que progride o enchimento ao longo do dia até que se atinja uma altura variável de aterro de 1,80 a 3,00m (Figura C.18)



No final do dia, cobre-se a parte aterrada com uma camada de solo, de 0,15m a 0,3 m. O material de cobertura deve ser transportado de caminhão de áreas adjacentes ou de áreas de empréstimo. Em locais com carência de material de cobertura, pode ser utilizado composto produzido de resíduos domiciliares ou podas de árvores e material verde. Outra técnica que tem sido utilizada é o de coberturas removíveis como solo e geomembranas sintéticas (manta de sacrifício), que são retiradas antes da colocação dos próximos patamares.

Para economia de transporte, as jazidas para a retirada do solo devem estar localizadas o mais próximas possível do local a ser aterrado.

O comprimento da área de descarregamento varia de acordo com as condições locais e o tamanho do terreno total. A largura sobre a qual são compactados os resíduos varia de 2,40m a 6,0m, dependendo do terreno.

## Construção de células unitárias

Todos os métodos de construção de aterros sanitários diferem na forma de execução, entretanto, a sistemática de acondicionamento do lixo é a mesma, ou seja, consiste na construção de células unitárias.

Dá-se a denominação de célula a um leito que inclui o material de aterro (resíduos) e de cobertura, e várias células se superpõem sucessivamente, formando uma camada ou patamar até atingir a altura final determinada no projeto executivo.

Para tanto, o lixo deve ser disposto no solo previamente preparado, e a cada 3 viagens de descarregamento, de acordo com a capacidade do veículo coletor, o lixo deve ser empurrado de baixo para cima contra um barranco ou célula anterior e distribuído pelo seu talude. O talude deve ter inclinação de 1:1 ou 1:2 e a altura da célula deve variar de 4 a 6 metros.

O lixo espalhado pelo talude deverá ser compactado pelo trator de baixo para cima, proporcionando assim maior uniformidade de compactação. O trator deverá subir e descer a rampa de 3 a 5 vezes. A finalidade de se passar várias vezes com o trator sobre o lixo é a de reduzir o seu volume ao mínimo (geralmente a um terço do volume inicial).

A largura da célula deverá ser a menor possível (em geral, suficiente para descarga de três a cinco caminhões coletores).

No final do dia, ou quando a coleta estiver terminada, esse monte de lixo deverá receber uma cobertura de terra (15 a 30cm), com a finalidade de evitar a propagação de mosca, barata, ratos, urubus, etc., ficando assim constituída a célula unitária, como pode ser observado na Figura C.19.



Figura C.19 - Operação de confecção de células de resíduos (Aterro sanitário de Candiotá, RS)  
Fonte: Nathaly, 2011

Todo o lixo disposto no aterro deverá ser trabalhado da forma descrita, formando novas células, que devem cobrir todo terreno disponível.

Quando o local escolhido para a disposição atinge a sua capacidade total de recebimento, isto é, após a conclusão de todas as operações, coloca-se uma camada final de solo com aproximadamente 0,60m de espessura devidamente compactada.

A execução de uma célula em sobreposição à outra ou o recobrimento final do lixo só deverá acontecer após um período de cerca de 60 dias.

No final do dia, ou quando a coleta estiver terminada, esse novo monte de lixo deverá receber uma cobertura de terra, formando uma nova célula de lixo.

A terra de cobertura também deverá ser espalhada pelo trator de esteiras, em movimento de baixo para cima (Figura C.20).



Figura C.20 - Operação de espalhamento e compactação de resíduos  
Fonte: Nathaly, 2011

## Cálculo das dimensões da célula

Uma célula de resíduos pode ser representada por uma figura prismática definida pelas dimensões: comprimento, largura e altura como você pode observar na Figura C.21 .

O comprimento (L) é denominado de avanço da célula, a largura (b) é a frente de trabalho e é altura da célula (h)

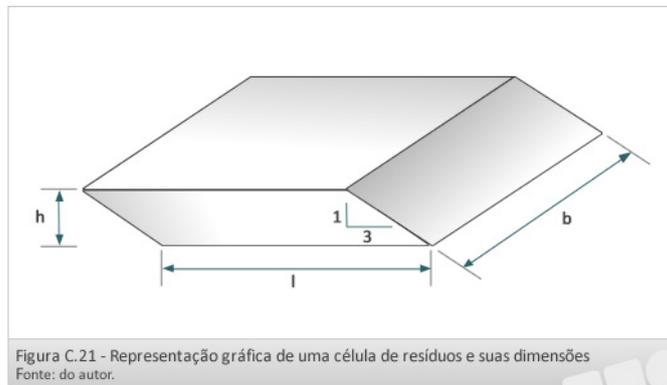


Figura C.21 - Representação gráfica de uma célula de resíduos e suas dimensões  
Fonte: do autor.

O volume da célula é obtido por meio da relação entre peso dos resíduos sólidos dispostos por dia no aterro e o peso específico dos resíduos, conforme a equação abaixo.

$$V_c = \frac{P_{rs}}{\gamma}$$

onde

- $V_c$  = volume da célula diária compactada ( $m^3/d$ );
- $P_{rs}$  = Peso de resíduos sólidos dispostos no aterro ( $kg/d$ );
- $\gamma$  = Peso específico dos resíduos compactados no aterro ( $kg/m^3$ ).

As determinar as dimensões largura da frente de serviço e avanço da célula, utiliza-se o critério de que a forma de célula que implica a menor utilização de material para cobertura diária é uma célula quadrada.

Desse modo, a área da célula pode ser estimada por:

$$A_c = \frac{V_c}{h}$$

onde

- **h** é a altura da célula diária (m);
- **A<sub>c</sub>** é a área da célula diária (m<sup>2</sup>);
- **V<sub>c</sub>** é o volume da célula diária (m<sup>3</sup>).

Considerando a frente de trabalho (**b**) igual ao avanço da célula (**L**), teremos

$$L = b = \sqrt{A_c}$$

- **L** é o avanço da célula (m);
- **b** é a frente de trabalho (m).

A equação acima pode ser expressa da forma

$$L = b = \sqrt{\frac{V_c}{h}}$$

A área a ser coberta com terra pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$A = b^2 + 2bhp$$

onde

- **A** é a área a ser coberta com material inerte (m<sup>2</sup>);
- **b** é a frente de trabalho (m);
- **h** é a altura da célula (m);
- **p** é a declividade do talude da rampa de trabalho.

### Parada obrigatória

Pessoal, com o estudo do conteúdo desta semana e as informações abaixo, estime as dimensões das células e as áreas a serem cobertas com terra, para as seguintes quantidades de resíduos (t/dia).

5, 10, 20, 40, 100, 200 e 300

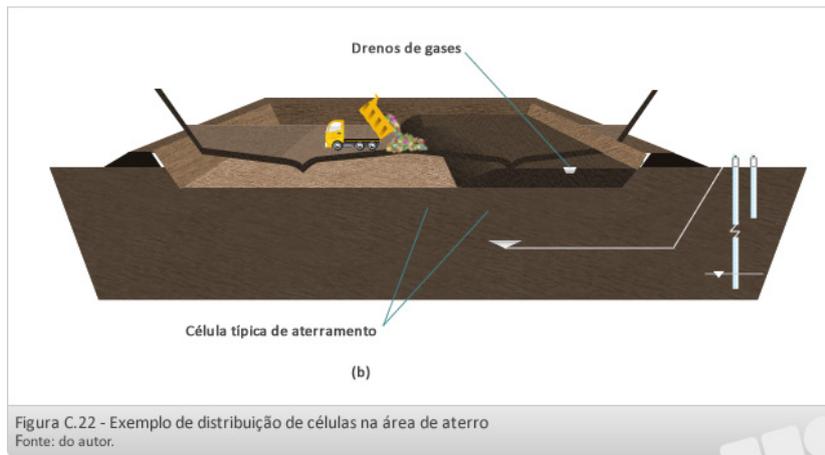
Considerando um peso específico dos resíduos de 700 kg/m.<sup>3</sup>



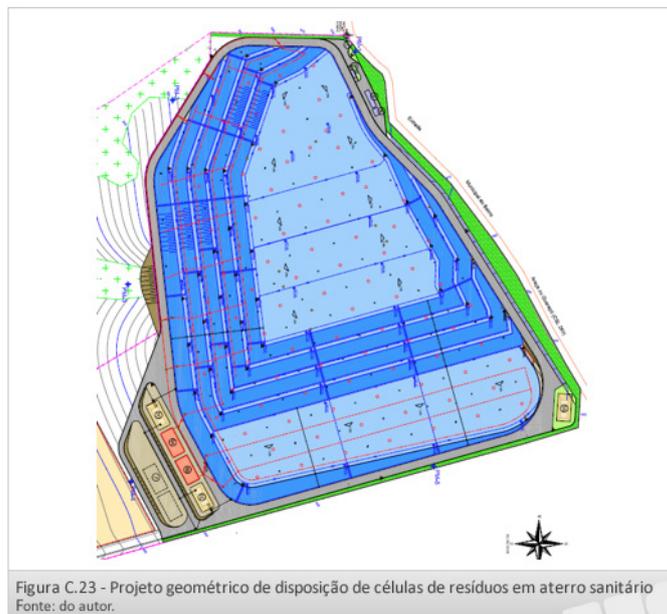
## 6. PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico consiste em plano detalhado da sequência de preenchimento das células do aterro sanitário. A sequência de preenchimento ou disposição dos resíduos deve ser estabelecida de modo que a operação do aterro não seja interrompida em condições climáticas severas, como períodos de fortes chuvas.

Na figura C.22 apresenta-se um exemplo típico de preenchimento das células de um aterro em depressão.



No projeto geométrico deve-se visar à maximização do volume a ser disposto na área disponível e atender aos requisitos para a estabilidade de sua fundação e dos seus taludes. O projeto geométrico é apresentado em planta e perfis, com indicação das alturas dos alteamentos, larguras das bermas de equilíbrio e inclinações dos taludes, como pode ser observado na figura C.23.



Na definição do plano de disposição de resíduos ou de avanço do aterro, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- o sincronismo entre o avanço das células (tanto horizontal quanto verticalmente) com o cronograma de implantação do aterro (etapas de implantação). Isso implica implantação escalonada e necessidade de recursos financeiros mais distribuídos ao longo da vida útil do aterro;
- a drenagem eficaz das águas pluviais à montante da frente de serviço;
- a localização da frente de serviço “de costas” para a entrada do aterro, das instalações de apoio, e de estradas (isso implica menores impactos visuais, uma vez que a frente de disposição diária de resíduos não estará visível àqueles que estão fora do aterro e também procurar manter a frente de serviço “de costas” para a direção dos ventos preferenciais, diminuindo o espalhamento de materiais leves pelo vento);
- as partes do aterro devem ser aterradas até a sua cota final (ver figura C22), com colocação da cobertura final, implicando uma menor geração de líquidos lixiviados.

### Saiba mais

Assista à animação de um exemplo de projeto geométrico de um aterro sanitário e observe a forma em que ocorre a ocupação da área. Disponível na biblioteca virtual.

## Resumo

Caros alunos. Nesta semana estudamos os métodos construtivos de aterros sanitários, o processo de cálculo das células de resíduos e as características de um projeto geométrico de aterros.

Existem basicamente três métodos construtivos utilizados com frequência no Brasil: O método da trincheira, da rampa e da área.

A escolha de cada um desses métodos dependerá da topografia do terreno, do tipo de solo e da profundidade do lençol freático. Leia com atenção a tabela abaixo

Tipo de aterro	Características principais
Trincheira ou vala	método recomendado para municípios de pequeno porte; resíduos são dispostos no fundo de trincheiras escavadas podem ser impermeabilizadas ou não; técnica apropriada para terrenos planos ou pouco inclinados; localização do lençol freático, abaixo de 3 metros de profundidade;
Rampa ou encosta	método utilizado em áreas degradadas como cavas de mineração, saibreiras e pedreiras e também em depressões naturais; método indicado para quando a área escolhida para o aterro é plana e apresenta um tipo de solo adequado para ser escavado e servir como material de cobertura. A permeabilidade do solo e a profundidade do lençol freático confirmarão ou não o uso desta técnica. Dentre os três métodos, este se apresenta como mais vantajoso em termos econômicos, pois economiza o transporte de material de cobertura de fora do sistema.
Área ou planície	Método recomendado para áreas planas quando o lençol freático encontra-se na profundidade limite de 1,5 metros. Indicado para locais onde o solo não pode ser escavado e utilizado como cobertura, sendo, nesse caso, a necessidade de importe de solo para o recobrimento diário e final.

Tabela C1 - tabela de resumo. Fonte: do autor

O projeto geométrico consiste em plano detalhado da sequência de preenchimento das células do aterro sanitário. A sequência de preenchimento ou disposição dos resíduos deve ser estabelecida de modo que a operação do aterro não seja interrompida em condições climáticas severas, como períodos de fortes chuvas.

No projeto geométrico, deve-se visar à maximização do volume a ser disposto na área disponível e atender aos requisitos para a estabilidade de sua fundação e dos seus taludes. O projeto geométrico é apresentado em planta e perfis, com indicação das alturas dos alteamentos, larguras das bermas de equilíbrio e inclinações dos taludes.

## Atividade – Cálculo da área e dimensões da célula

1. Efetuar o cálculo da área e das dimensões das células de um aterro sanitário com uma vida útil de 20 anos para um município gaúcho com população superior a 50.000 hab sugerido pelo professor.

### O projeto deverá conter as seguintes informações:

- a. Caracterização do município: localização, aspectos geográficos, climáticos, socioeconômicos, de infraestrutura urbana (saneamento básico, saúde, sistema viário, etc.) e população atual, flutuante e projetada (taxa de crescimento estimado).
- b. Dados sobre a limpeza urbana: informações sobre a coleta e transporte, abrangência do serviço, quantidade coletada de resíduos, frequência da coleta, eventuais tratamentos (reciclagem, compostagem, etc.) e disposição final.
- c. Parâmetros do projeto.
- d. Memorial de Cálculo.
- e. Planilha com a evolução da ocupação da área.
- f. Dimensões das células.

### Considerações para o projeto

- Se o município possuir usina de compostagem reduzir em 15% o volume de resíduos destinados ao aterro sanitário.
- Se o município possuir unidades de triagem reduzir em 20% o volume de resíduos destinados ao aterro sanitário.
- Peso específico dos resíduos compactado – 0,7 t/m<sup>3</sup>.
- Consumo do material de recobrimento – 22%.
- Altura das células – 5m.
- O trabalho deverá ser entregue impresso em folha A4, contendo as informações citadas nos itens 1 a 5, com memorial de cálculo e gráficos, mostrando a ocupação da área ao longo do tempo (anos).
- DATA DE ENTREGA: a data de entrega será definida pelo professor (Trabalhos recebidos após o prazo de entrega terão a nota reduzida em 0,5 pontos por dia de atraso).
- Não serão aceitos trabalhos enviados por e-mail.





TICS



## **Sistema de impermeabilização e drenagem de aterros**

**Unidade D**  
**Disposição Final de Resíduos**



UNIDADE **D**

# 1. SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Prezados(as) alunos(as), nesta unidade discutiremos as peculiaridades do sistema de impermeabilização de aterro sanitário, materiais utilizados, as etapas de execução da impermeabilização de base. Nesta unidade, veremos também as características e as etapas de dimensionamento do sistema de drenagem pluvial e do sistema de drenagem de chorume.

Para iniciarmos o assunto, assista ao vídeo, acessando o link <<http://www.youtube.com/watch?v=ROAgQL9DmJs&feature=fvst>> e observe as obras realizadas com o uso de geomembranas em aterro sanitários. Realize a atividade abaixo sobre Sistemas de Impermeabilização.



Posteriormente, observe os sistemas de impermeabilização de base e cobertura e o sistema de drenagem de chorume, na representação gráfica do perfil vertical de um aterro sanitário, ao lado. De acordo com seus conhecimentos, descreva a função e a denominação do elemento construtivo e/ou material representado pela numeração em destaque na imagem:

- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_
- 6 \_\_\_\_\_
- 7 \_\_\_\_\_
- 8 \_\_\_\_\_
- 9 \_\_\_\_\_
- 10 \_\_\_\_\_
- 11 \_\_\_\_\_
- 12 \_\_\_\_\_
- 13 \_\_\_\_\_
- 14 \_\_\_\_\_

A construção de sistemas de impermeabilização em aterros objetiva impedir a infiltração de águas da chuva através da massa de resíduos, após a conclusão da operação de aterramento (impermeabilização superior) e garantir um confinamento dos resíduos e lixiviados gerados, impedindo a infiltração de poluentes no subsolo e aquíferos adjacentes (impermeabilização inferior ou da base).

Podemos afirmar que:

- A impermeabilização de base tem como objetivo principal proteger o solo e as águas subterrâneas limitando a migração de líquidos e gases.
- A impermeabilização da cobertura tem como objetivos limitar a entrada de água, que contribui na formação do chorume, e maximizar a captação de gases gerados no aterro.

Um sistema de impermeabilização deve apresentar as seguintes características:

- Estanqueidade.
- Durabilidade.
- Resistência mecânica.
- Resistência a intempéries.
- Compatibilidade com os resíduos a serem dispostos.

Atualmente, os materiais mais utilizados para a impermeabilização em aterro são as argilas compactadas (bentonita, ilita, caolinita) e os químicos como, por exemplo, os geossintéticos ;

### Saiba mais

Geossintético [G]: denominação genérica de um produto polimérico (sintético ou natural), industrializado, cujas propriedades contribuem para melhoria de obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais das seguintes funções: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial (NBR 12553 - Geossintéticos: Terminologia - projeto de revisão em Consulta Pública) .<sup>1</sup>

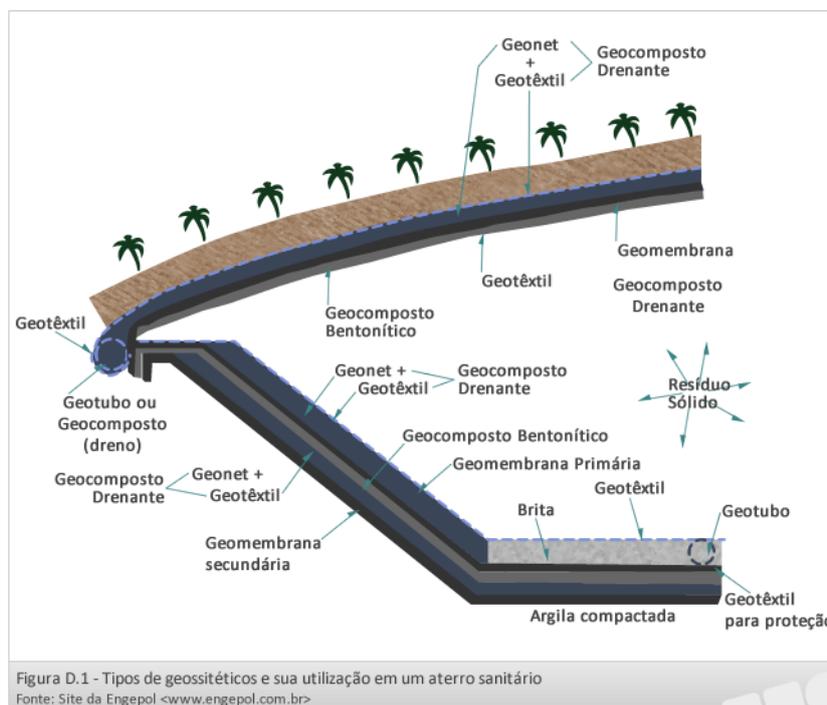
### Geossintéticos utilizados em aterros sanitários

Os principais geossintéticos utilizados em aterros sanitários são:

- Geotêxteis.
- Georredes.
- Geomembranas.
- Geogrelhas.
- Geotubos.
- Geocompostos.

<sup>1</sup> Associação Brasileira de Geossintéticos. [http:// www.igsbrasil.org.br](http://www.igsbrasil.org.br)>

Na Figura D.1 são ilustrados os tipos de geossintéticos e sua utilização em um aterro sanitário.



**Geomembranas** são membranas sintéticas feitas de borracha e plásticos e são comercializadas em diversas espessuras, texturas e materiais. Entre os polímeros atualmente utilizados para a confecção de membranas flexíveis incluem-se os seguintes tipos:

- Cloreto de polivinila (PVC).
- Borracha butílica.
- Polietileno clorosulfonado (hypalon).
- Borracha de etileno-propileno (EPDM).
- Polietileno de alta densidade (HDPE).

Características necessárias a uma geomembrana para aplicação em aterros industriais:

- Compatibilidade com os resíduos a serem aterrados.
- Resistência a esforços mecânicos.
- Resistência a intempéries.
- Resistência a microorganismos do solo.

Também são utilizadas, principalmente nos Estados Unidos da América, as membranas duplas de geotêxtil com uma camada intermediária fina de argila bentonítica também chamados de **geocompostos bentoníticos**.

Os **geocompostos bentoníticos** podem ser definidos como uma barreira hidráulica geossintética que consiste de argila bentonítica sódica encapsulada por geotêxteis unidos somente nas bordas ao longo de toda a sua superfície através de agulhamento ou ponteamto, podendo também ser aderida à geomembrana por adesivos químicos. São apresentadas em bobinas de largura e comprimento em torno de 5 e 50 m, respectivamente, e geralmente usadas como alternativa em substituição à camada de argila compactada ou como camada complementar em sistemas compostos por vários geossintéticos mas camada de argila compactada.

Quando hidratada sob confinamento, a bentonita expande-se formando uma camada de baixa permeabilidade, que funciona como proteção hidráulica similar a vários centímetros de argila compactada. A permeabilidade do geocomposto bentonítico com espessura de 5mm é da ordem de  $10^{-9}$  cm/s para aqueles encapsulados em geotêxtil, e de  $10^{-12}$  cm/s para os aderidos à geomembrana.

### Saiba Mais

Assista a apresentação Tipos de Geossintéticos para saber mais sobre os demais tipos de elementos geotécnicos utilizados em aterros sanitários. Acesse: <<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/moodle/mod/url/view.php?id=570>>

## Impermeabilização de base

A NBR 13896/97 prevê a necessidade de implantação de uma camada impermeabilizante na base do aterro quando no local não houver um solo homogêneo com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0m.

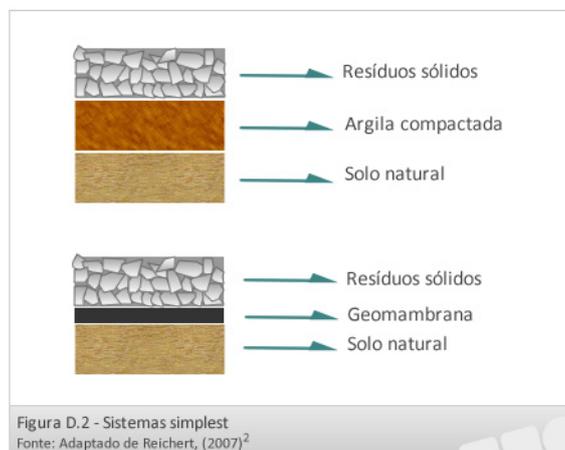
Porém, o órgão ambiental licenciador pode exigir que seja construída a camada impermeabilizante mesmo o solo do local escolhido atenda ao critério estabelecido na norma citada.

Esta camada impermeabilizante inferior deve:

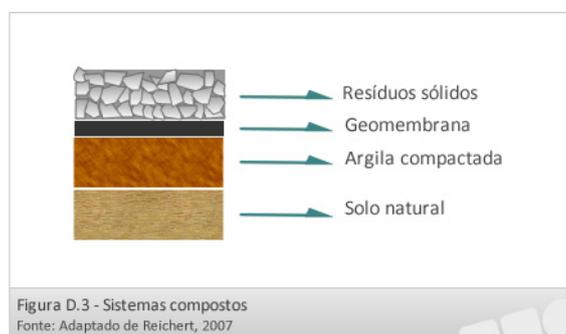
- Ser construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com os resíduos, com suficiente espessura e resistência, de modo a evitar rupturas ocasionadas pelas pressões dos resíduos, contato físico com o lixiviado ou resíduo, condições climáticas e tensões da instalação da impermeabilização ou operação diária.
- Ser colocada sobre base capaz de suportá-la, bem como resistir aos gradientes de pressão acima e abaixo da impermeabilização, de forma a evitar sua ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro.
- Ser instalada de forma a cobrir toda a área, de modo que o resíduo, o lixiviado não entre em contato com o solo natural.

Os sistemas de impermeabilização inferior podem ser **simples**, **compostos** ou **duplos**.

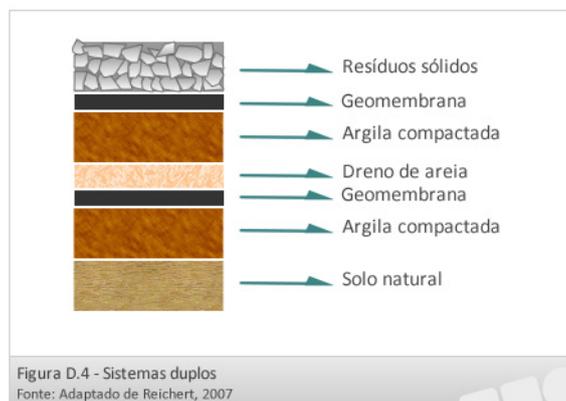
- **Sistemas simples** são construídos com apenas uma camada, geralmente de argila compactada (também pode ser com somente uma camada de geomembrana).



- **Sistemas compostos** são construídos por duas camadas sobrepostas de diferentes materiais, geralmente uma camada de argila compactada mais uma geomembrana sobreposta, supondo-se uma perfeita aderência entre geomembrana e a argila. Um sistema composto funciona como uma única camada.



- **Sistemas duplos** são construídos com duas camadas espaçadas por material drenante (geralmente o material drenante é areia ou uma geomalha) que tem por finalidade detectar e coletar os líquidos ou gases que porventura venham a passar pela camada impermeabilizante superior. Cada uma das duas camadas dos sistemas duplas pode ser **simples** ou **composta**.

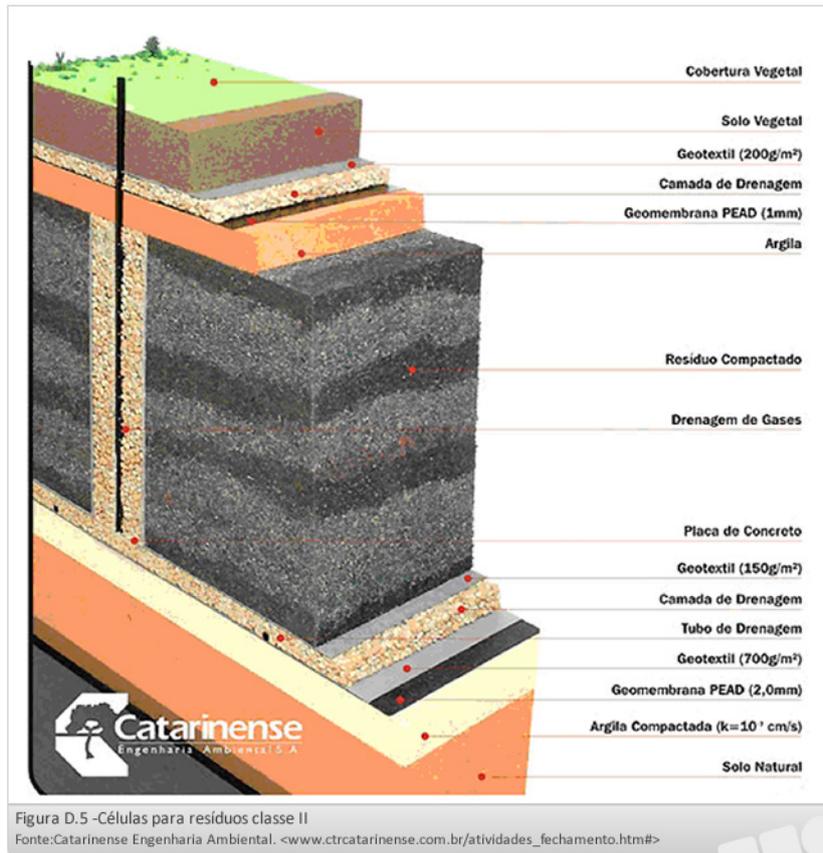


A decisão de adotar qualquer sistema de base num projeto de aterro sanitário depende fundamentalmente das condições do solo e hidrogeologia do local, do tipo (periculosidade) dos resíduos a serem dispostos e do tamanho e importância do aterro.

Quanto maior o aterro, em termos de volume útil total ou capacidade de recepção diária, e quanto mais sensível ambientalmente for o local de implantação do aterro, maior devem ser os cuidados do projetista. Neste caso, podem-se adotar sistemas compostos ou até duplos de impermeabilização. Em muitos casos, o próprio órgão ambiental licenciador estabelece as condições a serem adotadas por ocasião da emissão da Licença Prévia (LP).

Em locais ambientalmente favoráveis, com camada espessa de material de baixa permeabilidade e com nível profundo de lençol freático, sistemas simples de impermeabilização podem ser adotados. Quando sistemas simples são adotados, deve-se sempre preferir a impermeabilização com argila compactada à colocação de uma camada simples de geomembrana. Isso porque a camada mineral tem melhor desempenho e resistência a longo prazo.

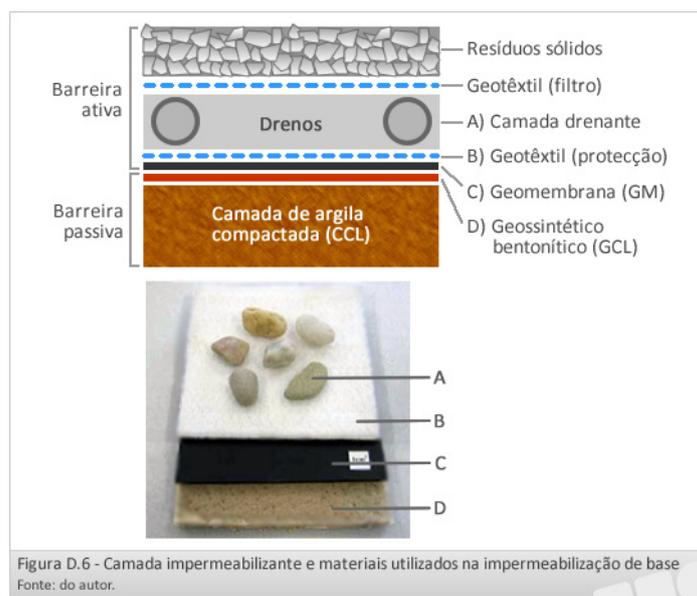
A figura D.5 apresenta um modelo de sistema de impermeabilização inferior e de cobertura para aterros sanitários classe IIA.



### Instalação (construção) da impermeabilização inferior

A construção da camada de base do aterro é uma das partes importantes e sensíveis de toda obra. É esta camada, se bem executada, que impede a contaminação das águas subterrâneas por lixiviados e gases. Além, em aterro de médio e grande porte é praticamente impossível fazer qualquer reparo nesta camada se houver alguma ruptura.

A figura D.6 apresenta um exemplo de camada impermeabilizante de base e o sistema de drenagem do chorume e também os materiais utilizados.



A instalação desta camada começa com a terraplanagem do terreno, retirando a vegetação, rochas e outros materiais, deixando o terreno no greide definido pelo projeto.

Uma vez feita a terraplanagem, inicia-se a construção da camada de impermeabilização inferior propriamente dita. A argila é espalhada no local, homogeneizada e compactada com a utilização de equipamento de construção rodoviária como arados de discos, compactadores pé-de-carneiro e trator-de-esteiras.

Em pequenos aterros, a compactação pode ser feita manualmente ou com equipamento conhecido com “sapo mecânico” ou compactador tipo placa.

A compactação da argila deve ser feita em camadas não superiores a 25 cm de espessura, na umidade ótima. Se a argila estiver muito úmida, um arado de disco pode ser utilizado para revolver o material a acelerar sua secagem. Este procedimento também é utilizado para fazer a “conexão” entre as sucessivas camadas compactadas de argila. Quando o material estiver abaixo da umidade ótima, deve-se fazer a aplicação de água limpa com caminhão ou tanque pipa.

Caso o aterro tenha camada de impermeabilização composta, isto é, geomembrana sobreposta a uma camada de argila, a superfície sobre a qual a geomembrana vai ser disposta deve estar seca, lisa e livre de torrões de argila, pedras, raízes e qualquer outro material orgânico. Preferencialmente a geomembrana deve ser instalada nas horas do dia de temperaturas mais amenas, devendo-se evitar temperaturas muito extremas, devido às dilatações que causam nas membranas.

De modo a evitar escorregamento ou ação do vento sobre a geomembrana, esta deve ser firmemente ancorada nas bordas superiores dos taludes do aterro sanitário.

A canaleta de ancoragem deverá ser escavada de acordo com as dimensões previstas no projeto, e o reaterro deverá ser feito cuidadosamente para evitar danos a geomembrana,

Com o objetivo de proteger a geomembrana de danos que possam ser causados pela colocação do sistema de drenagem (brita) ou mesmo dos resíduos sólidos (materiais pontiagudos e cortantes), uma camada de proteção mecânica deverá ser colocada sobre a geomembrana. Esta camada, com cerca de 20 a 30cm de espessura, poderá ser de qualquer solo, não sendo necessário que seja argila, uma vez que a sua função não é de impermeabilização, mas de proteção. Esta camada de solo também evita que a geomembrana fique exposta à ação da temperatura e dos raios solares.

### Saiba Mais

Acesse o arquivo Impermeabilização em aterros para saber mais sobre as etapas básicas para implantação do sistema de impermeabilização em aterros sanitários.

## Impermeabilização de cobertura

O recobrimento final sobre a superfície dos aterros sanitários tem como objetivos:

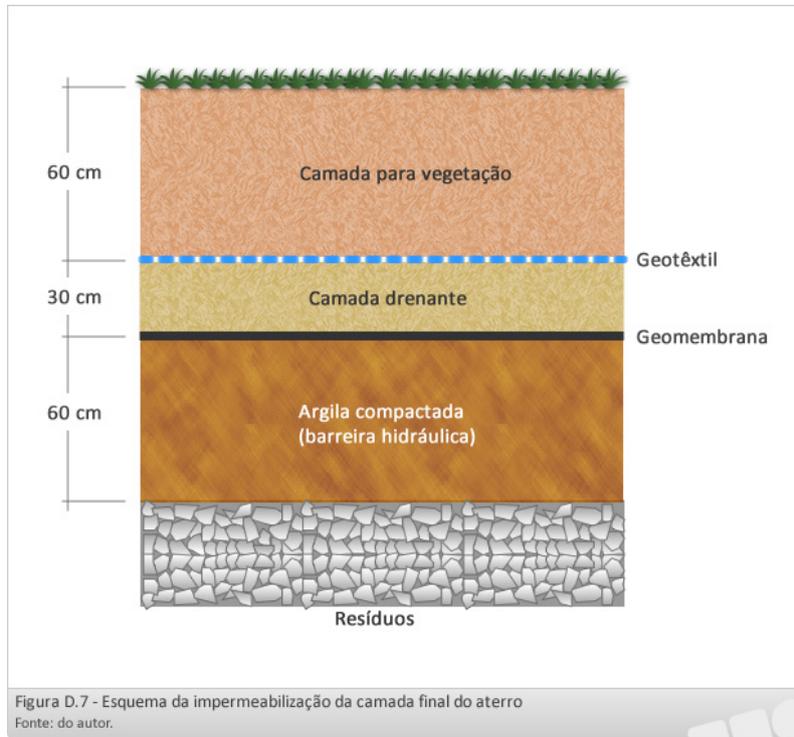
- Minimizar a infiltração de águas provenientes de precipitações pluviométricas após a conclusão dos aterros.
- Impedir o escape desordenado de gases e, conseqüentemente, limitar a possibilidade de ocorrência de acidentes e ou degradação ambiental do entorno dos aterros.
- Propiciar a plantação de vegetação e o reaproveitamento da área.

Para atingir esses objetivos, a camada de recobrimento deve apresentar as seguintes características ao longo do tempo:

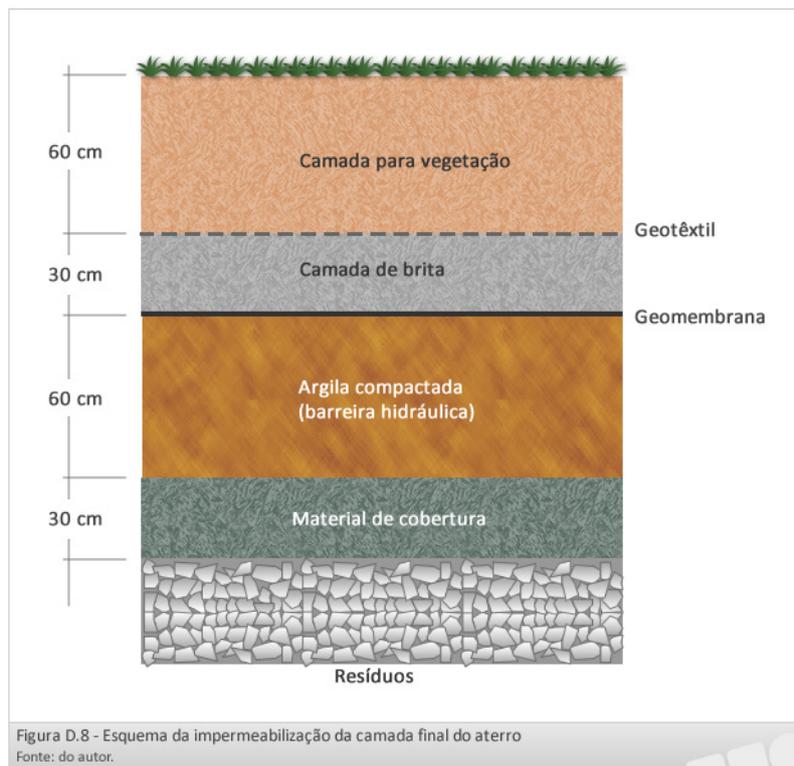
- Resistir às condições climáticas a que estará sujeita.
- Ser resistente à erosão provocada pela água e pelo vento.

- Aceitar recalques acentuados provenientes da deformação do maciço do aterro.
- Suportar sobrecargas oriundas do tráfego de veículos durante as operações de encerramento do aterro.
- Ser resistente a ataques químicos causados por gases, plantas, animais, etc.

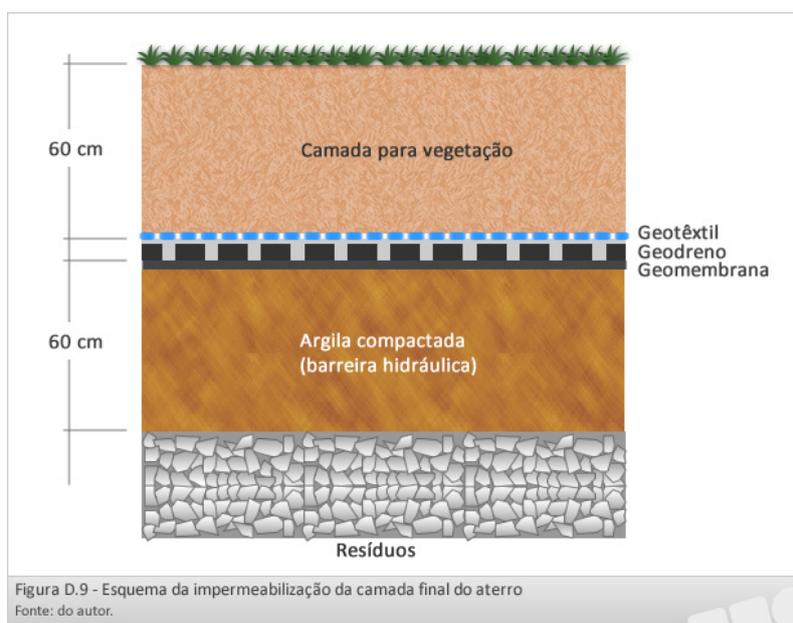
Na Figuras D.7, D.8, D.9 e D.10 estão esquematizados alguns tipos de recobrimentos comumente utilizados. Na Figura D.7 o geotêxtil atua como elemento de separação, impedindo a mistura do solo com a camada de areia.



Na Figura D.8 pode-se observar a barreira constituída de geomembrana e argila.

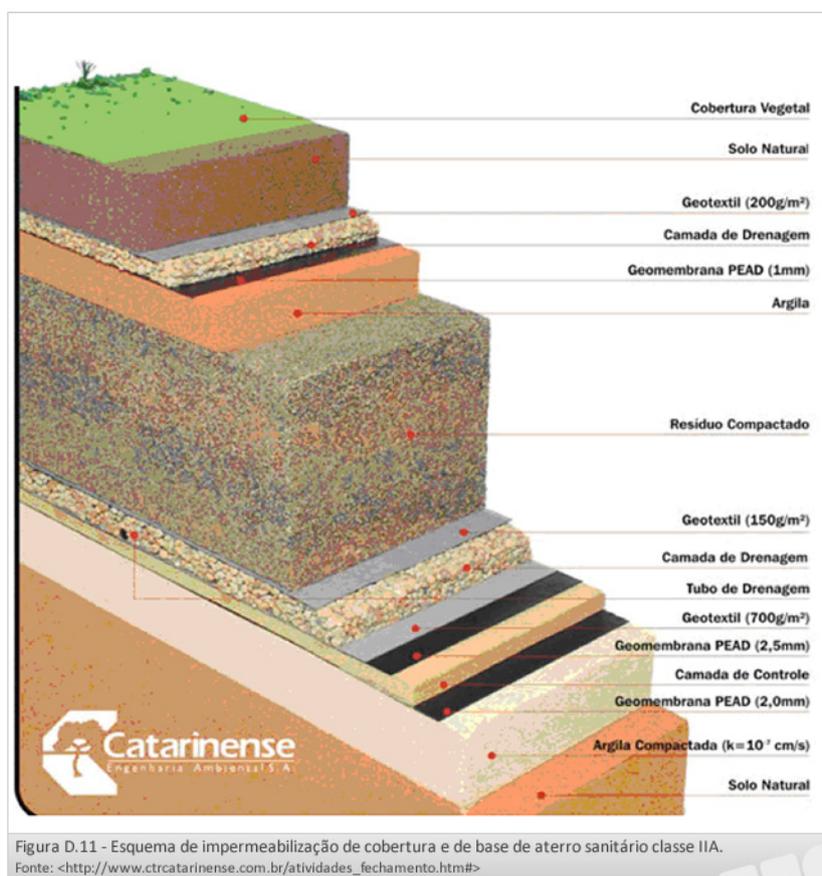


Na Figura D.9 a areia ou brita é substituída por geodrenos.



Em geral, os recobrimentos empregados nos nossos aterros caracterizam-se por uma camada de solos argilosos pouco erodíveis, sendo sobre ela realizado o plantio de grama

Na Figura D.11, é apresentado um desenho esquemático dos sistemas de impermeabilização de base e de cobertura.



## 2. SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

O sistema de drenagem superficial ou de águas pluviais tem como objetivos a coleta e o esgotamento das águas de chuva, de forma a evitar a ocorrência de erosões nos taludes e no sistema viário e também evitar o aumento da quantidade de percolados por infiltrações superficiais.

Esse sistema de drenos retira tanto a água da chuva que cai sobre as áreas do aterro sanitário já concluídas e cobertas, como as águas que vêm da bacia de contribuição de montante do aterro.

Esses dispositivos devem compreender a execução de sistemas provisórios como também os definitivos.

### Drenagem Provisória

A drenagem provisória engloba os dispositivos de controle de escoamento superficial para evitar a infiltração e erosões nas praças e/ou taludes, em decorrência do fluxo de águas de chuvas e, também, as drenagens necessárias nas estradas de acesso provisórias.

O sistema de drenagem provisória consiste na implantação de canaletas escavadas na camada de cobertura de cada célula. Essas canaletas devem ser instaladas no contato de cada célula com as ombreiras e junto às bordas externas das células, conforme pode ser observado na figura D.12.

Nos locais com declividade acentuada ou grande afluxo de água, deve ser feito o revestimento com brita pedra de mão e sacos de solo ou areia, a fim de serem evitadas constantes manutenções. Esses sistemas devem ser interligados ao sistema de drenagem definitiva já implantado.

Adicionalmente, esses dispositivos devem ser implantados nas ombreiras provisórias, a fim de conter afluxos de águas superficiais oriundas de escoamentos superficiais ao montante das praças de trabalho.



Figura D.12 - Sistema de drenagem pluvial provisório no aterro de Minas do Leão, RS (2007)  
Fonte: do autor.

## Drenagem Definitiva

A drenagem definitiva compreende os dispositivos relacionados aos sistemas de drenagem que funcionarão após a conclusão de cada célula ou após a conclusão do aterro, além de estradas de acesso definitivas.

São dispositivos que devem ser implantados com o alteamento do aterro de modo a proteger as áreas de trabalho, os taludes e o aterro de danos provocados pelas chuvas.

Os dispositivos mais comuns compreendem canaletas de berma, sarjetões, descidas d'água nos taludes, canaletas de concreto, descidas d'água em degraus, caixas de passagem, etc. (Figura D.13).

Os elementos de drenagem que forem implantados no corpo do aterro devem ser constituídos por dispositivos que aceitem as grandes deformações que serão geradas pelos aterros.



Figura D.13 - Sistema de drenagem pluvial permanente  
Fonte: CHERUBINI, 2008

Em geral, a combinação de canaletas de brita nas bermas e descidas d'água de taludes constituídos por colchões de gabiões corresponde à solução mais atraente, pois minimiza manutenções ao longo da vida útil dos aterros

Nas bermas, onde esteja previsto tráfego de manutenção do aterro, devem ser implantados colchões de gabiões com pequena declividade transversal, de forma a assegurar que os equipamentos possam trafegar sobre eles. E onde for previsto o tráfego constante de equipamentos de manutenção e de coletores ou carretas, em geral, devem ser instalados tubos de passagem embutidos.

A instalação de canaletas de concreto para drenagem das águas pluviais deve estar restrita a regiões não sujeitas às deformações dos maciços dos aterros, como a região de contato do aterro com as ombreiras.

Nos locais de forte declividade das encostas, devem ser executadas descidas em degraus, de seção retangular ou trapezoidal, implantadas totalmente em concreto armado. Nos trechos de transição de taludes deve ser dada atenção especial ao travamento da escada (através de abas laterais) para evitar trincas por movimentação diferenciada de trechos da estrutura.

Na parte final dos dispositivos de drenagem, como canaletas e descidas em degrau, em que a água pasará a escoar pelo terreno natural, devem ser previstos dispositivos especiais, como revestimentos em rachão, para dissipação de energia e/ou controle de erosão na base das estruturas.

Nas drenagens naturais existentes, em região de fortes declividades e onde ocorram fluxos concentrados ou velocidades acentuadas, que podem provocar erosão do terreno, poderá ser necessário executar muros de gabião, caixa e colchões de gabião.

Durante a operação do aterro devem ser mantidas equipes para desobstrução dos diversos dispositivos

de drenagem e para a recomposição de eventuais trechos danificados, especialmente após os períodos prolongados de chuvas ou precipitações intensas.

## Cálculo da vazão de projeto

No dimensionamento da rede de drenagem das águas pluviais pode-se utilizar o Método Racional, válido para pequenas bacias (área até 50 hectares):

$$Q = C \times I \times A$$

onde,

- **Q** = vazão a ser drenada na secção considerada ( $m^3.s^{-1}$ );
- **C** = coeficiente de escoamento superficial (tabelado);
- **I** = intensidade da chuva crítica ( $m.s^{-1}$ );
- **A** = área da bacia contribuinte ( $m^2$ ).

O coeficiente de escoamento superficial (**c**) é função do tipo de solo, da cobertura do solo, da declividade do terreno, e para o presente caso, pode ser obtido da Tabela D1.

Tipo de cobertura	Solo Arenoso		Solo Argiloso	
	Declividade < 7%	Declividade > 7%	Declividade < 7%	Declividade > 7%
Áreas com matas	0,20	0,25	0,25	0,30
Campos cultivados	0,30	0,35	0,35	0,40
Áreas gramadas	0,30	0,40	0,40	0,50
Solos sem cobertura vegetal	0,50	0,60	0,60	0,70

Tabela D1 - Coeficiente de escoamento superficial (c)

A intensidade da chuva crítica é a que causa maior vazão na seção considerada e tem duração igual ao tempo de concentração ( $t = t_c$ ). Rocca et al. (1993) sugerem a seguinte equação para cálculo da chuva crítica:

$$i_c(t_c, T) = \frac{1}{t_c} \left[ (0,21 \cdot \ln T + 0,52) \cdot (0,54 \cdot t_c^{0,25} - 0,50) \cdot P_{(60,10)} \right]$$

onde,

- **i** = intensidade de chuva crítica ( $mm.min^{-1}$ );
- **T** = período de retorno (anos);
- **P(60,10)** = precipitação com duração de 60 min e período de retorno de 10 anos (mm);
- **T<sub>c</sub>** = tempo de concentração (min).

O tempo de concentração, que corresponde ao tempo que a gota de chuva que cai no ponto mais distante da bacia de contribuição leva para chegar à seção considerada, pode ser calculado por uma das seguintes fórmulas:

$$t_c = 5,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{I}} \qquad I = \frac{H}{L}$$

onde,

- **L** = comprimento do talvegue máximo da bacia (Km);
- **H** = altura máxima do perfil longitudinal do talvegue máximo (m);
- **I** = declividade de média ou talvegue máximo ( $m.m^{-1}$ ).

### 3. SISTEMAS DE DRENAGEM DE PERCOLADOS

Durante o processo de decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos ocorre uma grande produção de gases e de percolados. As características físicas, químicas e biológicas, bem como o volume e a vazão desses materiais, dependem, entre outros fatores, da idade do aterro, das condições atmosféricas, principalmente relacionadas às precipitações, do tipo de aterro, do tipo de cobertura utilizado nas células, do revestimento final do aterro e da compactação dos resíduos.

O sistema de drenagem tem por objetivo coletar e remover o mais rapidamente possível os lixiviados gerados do interior do aterro sanitário; evitar a contaminação dos recursos hídricos e manter a estabilidade do aterro

Em geral, esses sistemas servem para drenar simultaneamente os percolados e os gases.

#### Classificação dos drenos em aterro

Os drenos para drenagem do chorume pode ser classificado de acordo com sua função em:

- Drenos de talude.
- Drenos horizontais.
- Drenos de fundação ou de base.

#### Drenos de talude

São drenos horizontais ao longo das bermas, instalados transversalmente ao talude. Estes drenos têm por finalidade captar eventuais vazões de percolados não interceptadas pelo sistema de drenagem principal, e conduzi-las aos drenos de fundação (Figura D.14).

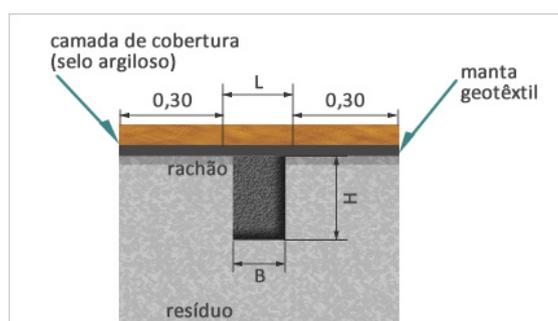
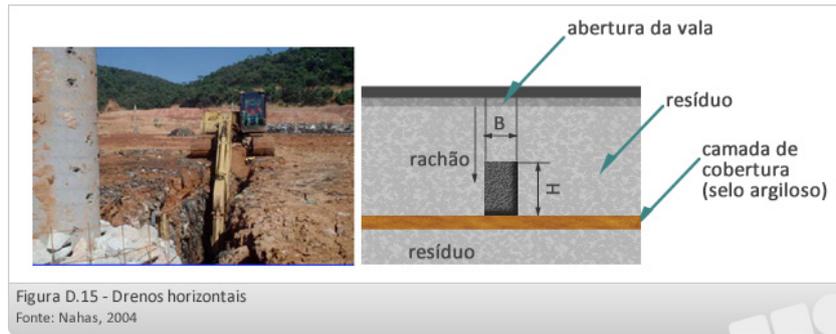


Figura D.14 - Esquema gráfico de drenos de talude  
Fonte: do autor

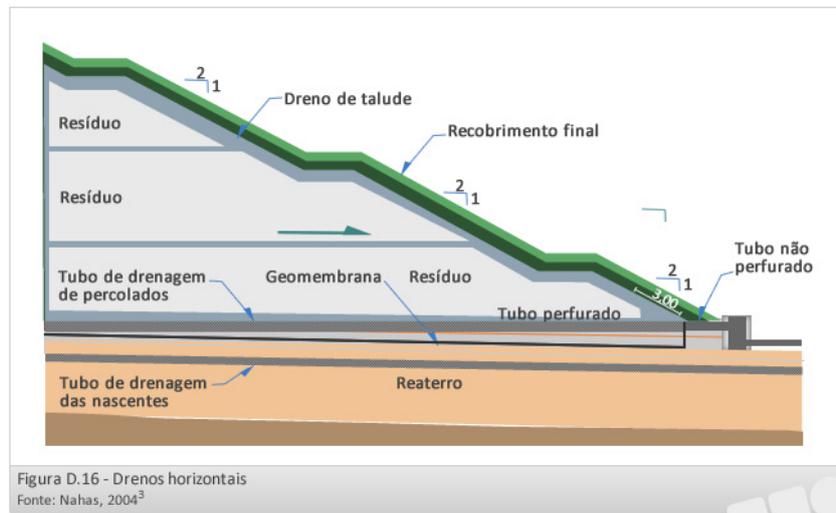
#### Drenos horizontais

São utilizados para promover a dissipação de níveis piezométricos dos percolados e de bolsões de gases presos nas células de resíduos já concluídas.

Sua implantação é realizada após a conclusão de cada célula de resíduos, mediante a escavação de uma trincheira preenchida com material granular.



Esses drenos são interligados aos poços verticais de drenagem de gás e de percolados, os quais conduzirão os percolados coletados para o sistema de drenagem da fundação (figura D.16).



### Drenos de fundação ou base

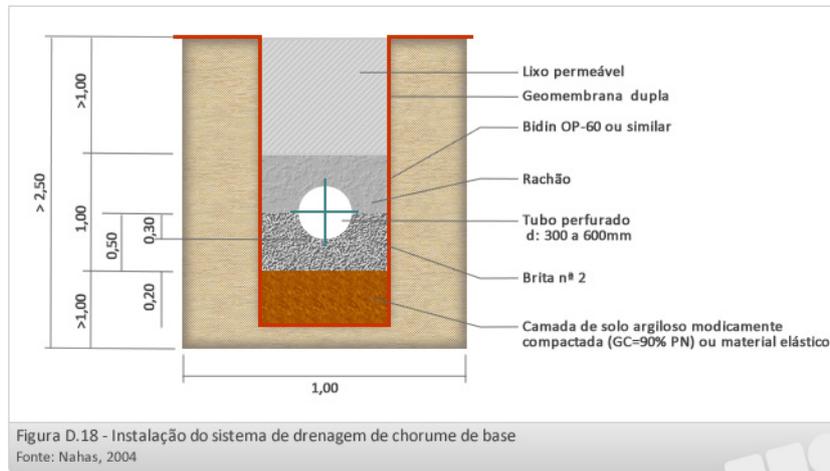
O sistema de drenagem de fundação ou base é composto por uma rede de valas subsuperficiais, preenchidas com material drenante (brita ou cascalho) ou tubulações de concreto, PVC ou PEAD, como pode ser observado na figura D.17.



A rede de drenagem de chorume deve abranger toda a superfície de base do aterro, de forma a ser capaz de captar e escoar os líquidos que atravessam a massa do aterro para uma caixa de acumulação localizada em ponto de cota inferior ao aterro.

Os principais objetivos do sistema de drenagem de base são: coletar e conduzir o líquido lixiviado, reduzindo as pressões destes sobre a massa de resíduo e, também, minimizar o potencial de migração para o subsolo e consequente contaminação.

Na Figura D.18 é apresentada uma instalação típica do sistema de drenagem de chorume.



O material utilizado nos sistemas de drenagem de percolados deve apresentar algumas características essenciais como:

- material quimicamente resistente ao resíduo e ao lixiviado;
- resistente a pressões ;
- projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento do aterro.

Segunda a norma brasileira NBR 13.896/97, um sistema de drenagem de coleta e remoção de lixiviados deve ser:

- instalado imediatamente acima da impermeabilização;
- dimensionado de forma a evitar a formação de uma lâmina de líquido lixiviado superior a 30 cm sobre a impermeabilização;
- construído de material quimicamente resistente ao resíduo e ao líquido lixiviado e suficientemente resistente a pressões originárias da estrutura total do aterro e dos equipamentos utilizados na operação;
- projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento do aterro.

## Formas de instalação do sistema de drenagem de fundação ou base

Os drens de lixiviados podem ser construídos na forma de:

- colchão drenante
- rede de drenagem

### Colchão drenante

Nessa concepção a superfície da base do aterro é totalmente coberta com material drenante ou na forma de linhas de drens como pode ser observado nas figura D.19

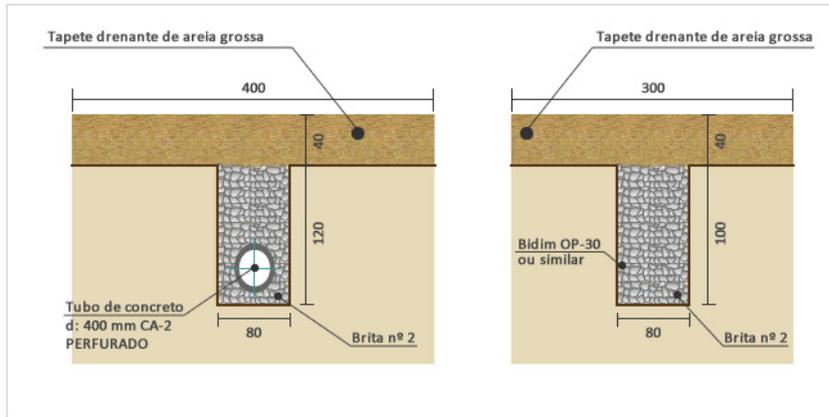


Figura D.19 - Instalação do sistema de drenagem de chorume de base  
Fonte: do autor

Nas Figuras D.20 e D.21 são apresentados exemplos de instalação do colchão drenante.



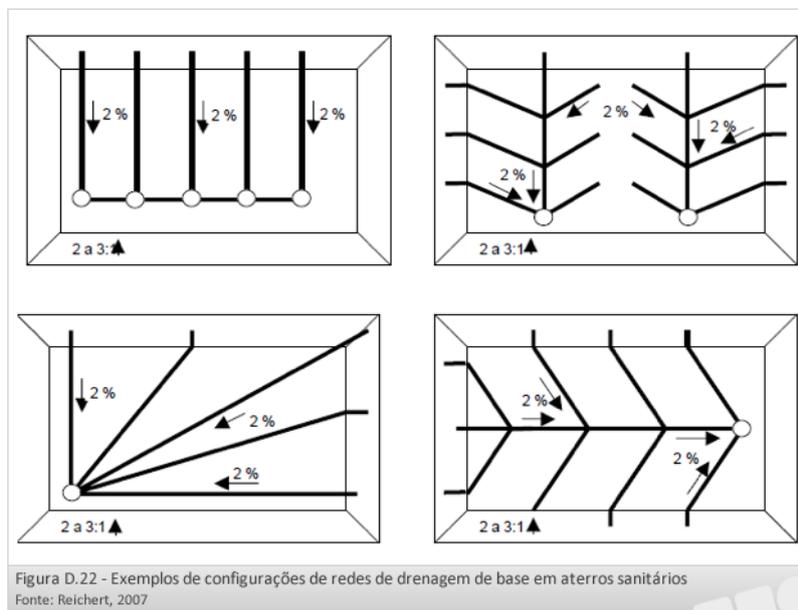
Figura D.20 - Execução do espalhamento do material drenante na base do aterro sanitário.  
Fonte: <http://www.ohswa.org/>



Figura D.21 - Colocação do dreno principal em sistema de drenagem do tipo colchão drenante  
Fonte: do autor

## Rede de drenagem

A rede de drenagem de lixiviados pode ter várias configurações em planta, sendo que a opção a ser adotada no projeto depende fundamentalmente da topografia do local e da geometria do projeto do aterro. Na figura D.22 são apresentadas algumas configurações de redes de drenagem. Os drenos além do fundo do aterro devem também abranger parte dos taludes.



Em todos os sistemas mostrados na figura D.22, o lixiviado flui por gravidade para as áreas de acúmulo ou pontos de saída (identificados com um círculo branco na figura acima), onde algum sistema de remoção é instalado. Algumas dessas opções de saída são:

- poço de visita que sobe através dos resíduos (e da cobertura final) para a remoção por bombeamento do lixiviado; (Figura D.23)
- tubulação colocada sobre o talude impermeabilizado, chegando até o local de acúmulo;
- tubulação inclinada que passa através do talude e faz a descarga fora da célula do aterro (normalmente feito por gravidade, sem necessidade de bombas).



Sempre que possível, deve-se optar por fazer a descarga ou retirada do lixiviado do interior do aterro sem a utilização de bombas, uma vez que o uso desse tipo de equipamento sempre corresponde a uma fragilidade do sistema e leva à possibilidade de falhas. Quando a impermeabilização inferior for feita com geomembrana, cuidados especiais devem ser tomados, na passagem da tubulação de saída de lixiviados por esta camada.

## Estruturas para a captação do percolado

Os sistemas de coleta e tratamento de líquidos percolados são compostos por:

- dreno de brita com tubo guia;
- caixas de acumulação;
- estação de bombeamento;
- estação de tratamento de líquidos percolados.

Os líquidos percolados podem ser tratados por processos físico-químicos convencionais, processos biológicos e processos avançados.

### Métodos para estimativa da geração de

#### percolados

Entre os vários fatores que influenciam o volume de lixiviado gerado, destacamos os seguintes:

- clima local (regime de precipitações pluviométricas, temperatura, velocidade e direção dos ventos, umidade relativa do ar);
- tipo de cobertura dos resíduos (material, espessura, periodicidade);
- umidade dos resíduos no momento do aterramento;
- grau de compactação dos resíduos;
- capacidade dos resíduos em reter umidade;
- infiltrações subterrâneas (no caso de não haver impermeabilização inferior).

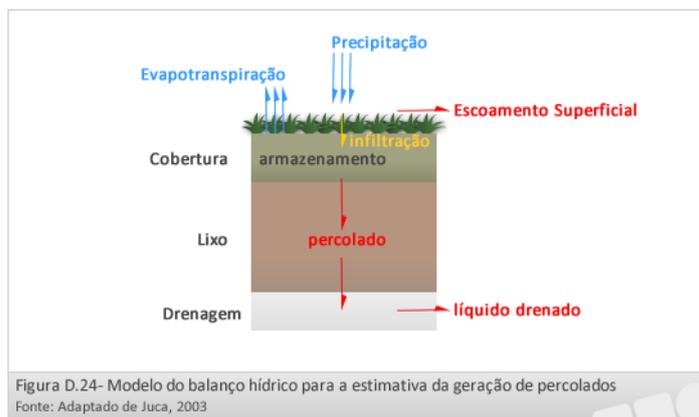
Para estimar a vazão de lixiviado gerado, os métodos mais utilizados são os embasados no balanço hidrológico, existindo para tanto grande número de equações baseadas em múltiplos modelos analíticos para quantificar os processos hidrológicos envolvidos. Um exemplo de equação para balanço hídrico em aterros sanitários é apresentado a seguir :

$$L = P + W_{SR} + W_{IR} + W_D + W_{GW} - ES - ET - \Delta S_s - \Delta S_r$$

onde:

- L** = geração de lixiviado;
- P** = entrada devido à precipitação;
- WSR** = entrada de água pluvial de fora do aterro;
- WIR** = entrada de irrigação ou recirculação;
- WD** = contribuição de água devido à decomposição dos resíduos;
- WGW** = infiltração pela base;
- ES** = escoamento superficial;
- ET** = evapotranspiração;
- ΔSS** = variação da umidade armazenada no solo de cobertura;
- ΔSR** = variação da umidade armazenada nos resíduos sólidos.

A Figura D.24 apresenta, de forma simplificada, os parâmetros envolvidos na análise de geração de percolados em aterros sanitários no modelo do balanço hídrico



### Método Suíço

A relação entre precipitação pluviométrica e escoamento de líquidos percolados foi estudada por Hans Jürgen Eling, para vários aterros. Baseado neste estudo, o autor suíço, criou uma sistemática empírica para determinação das descargas de percolados, originado o nome do método.

É um método de formulação simples semelhante ao Método Racional, entretanto não considera os efeitos da evaporação potencial e de baixa precisão.

A fórmula algébrica para a aplicação do método suíço, onde se estima a vazão de percolado é mostrada na Equação abaixo:

$$Q = \frac{PAK}{t}$$

onde:

- Q = vazão média do percolado em litros por segundo;
- P = precipitação média mensal (mm);
- A = área total do aterro (m<sup>2</sup>);
- t = número de segundos em 1 mês que é de 2592000 segundos;
- K = coeficiente que dependente do grau de compactação dos resíduos sólidos urbanos (valor tabelado conforme Tabela D2).

Tipo de aterro	Peso específico dos resíduos compactados	K
Aterro fracamente compactado	0,4 a 0,7 t/m <sup>3</sup>	0,25 a 0,5
Aterro fortemente compactado	Acima de 0,7 t/ m <sup>3</sup>	0,15 a 0,25

Tabela D2 - Valores tabelados do coeficiente K

### Método Racional

O cálculo da vazão superficial por este método baseia-se em três parâmetros: área da bacia de contribuição; intensidade e duração das chuvas e o coeficiente de escoamento, conforme Equação abaixo:

$$Q = CIA$$

onde:

- Q = vazão superficial máxima (L/s ou m<sup>3</sup>/s);
- C = coeficiente de escoamento ou “runoff”, relação entre o pico de vazão e a chuva média sobre a área receptora (valor tabelado conforme tabela D3);
- I = intensidade média da chuva (L ou m<sup>3</sup> por ha/s);
- A = área da bacia receptora da chuva (ha).

Entretanto, para obter a parcela da precipitação que infiltra, deve-se subtrair o volume total precipitado sobre a área do aterro do volume escoado, que é calculado pelo método racional, dentro do mesmo intervalo de tempo. Deste resultado, deve-se, subtrair a parcela de água devida à evapotranspiração. Tem-se, portanto, a fórmula algébrica mostrada na Equação abaixo:

$$Q = \frac{[(P - ES) - EP]}{t} A$$

onde:

- **Q** = vazão do percolado em litros por segundo;
- **P** = precipitação média mensal, em milímetros;
- **EP** = evaporação Potencial, em milímetros;
- **A** = área de contribuição em metros quadrados;
- **t** = número de segundos em 1 mês (2592000 s);
- **ES** = escoamento superficial, em milímetros; calculado por:

$$ES = P \times C$$

Onde:

- **P** = Precipitação média mensal.
- **C** = Coeficiente de escoamento superficial (“run-off”, adimensional).

Tipo de solo	Declividade(%)	Coeficiente C	
		Estação Seca	Estação úmida
Arenoso	0 a 2	0,05	0,10
	2 a 7	0,10	0,15
Argiloso	0 a 2	0,17	0,18
	2 a 7	0,18	0,22

Tabela D3 – Valores do coeficiente de escoamento superficial (C) em relação ao tipo de solo, declividade e índice pluviométrico.

## Resumo

### Impermeabilização

O sistema de impermeabilização em aterros tem como objetivos:

- Proteger o solo e as águas subterrâneas, limitando a migração de líquidos e gases.
- Limitar a entrada de água que contribui na formação do chorume e maximizar a captação de gases gerados no aterro.

Um sistema de impermeabilização deve apresentar as seguintes características:

- estanqueidade;
- durabilidade;
- resistência mecânica;
- resistência a intempéries;
- compatibilidade com os resíduos a serem dispostos.

Atualmente os materiais mais utilizados para a impermeabilização em aterro são as **argilas compactadas** (bentonita, ilita, caolinita) e os **químicos** como, por exemplo, os **geossintéticos** ;

Os principais geossintéticos utilizados em aterros sanitários são:

- Geotêxteis;
- Georredes;
- Geomembranas;
- Geogrelhas;
- Geotubos;
- Geocompostos.

A NBR 13896/97 prevê a necessidade de implantação de uma camada impermeabilizante na base do aterro quando no local não houver um solo homogêneo com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.

Porém, o órgão ambiental licenciador pode exigir que seja construída a camada impermeabilizante mesmo que o solo do local escolhido atenda ao critério estabelecido na norma citada.

Esta camada impermeabilizante inferior deve ser:

- construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com os resíduos;
- colocada sobre base capaz de suportá-la, bem como resistir aos gradientes de pressão acima e abaixo da impermeabilização;
- instalada de forma a cobrir toda a área, de modo que o resíduo, o lixiviado, não entre em contato com o solo natural.

Os sistemas de impermeabilização inferior podem ser **simples, compostos ou duplos**.

A **Impermeabilização de cobertura** tem como objetivos:

- Minimizar a infiltração de águas provenientes de precipitações pluviométricas após a conclusão dos aterros;
- Impedir o escape desordenado de gases e, conseqüentemente, limitar a possibilidade de ocorrência de acidentes e ou degradação ambiental do entorno dos aterros;
- Propiciar a plantação de vegetação e o reaproveitamento da área.

Para atingir esses objetivos a camada de recobrimento deve apresentar as seguintes características ao longo do tempo:

- Resistir às condições climáticas a que estará sujeita.
- Ser resistente a erosão provocada pela água e pelo vento.
- Aceitar recalques acentuados provenientes da deformação do maciço do aterro.

- Suportar sobrecargas oriundas do tráfego de veículos durante as operações de encerramento do aterro.
- Ser resistente a ataques químicos causados por gases, plantas, animais, etc.

### **Drenagem pluvial**

O sistema de drenagem superficial ou de águas pluviais tem como objetivos a coleta e o esgotamento das águas de chuva, de forma a evitar a ocorrência de erosões nos taludes e no sistema viário e também evitar o aumento da quantidade de percolados por infiltrações superficiais.

Esse sistema de drenos retira tanto a água da chuva que cai sobre as áreas do aterro sanitário já concluídas e cobertas, como as águas que vêm da bacia de contribuição de montante do aterro. Esses dispositivos devem compreender tanto a execução de sistemas provisórios como definitivos.

O sistema de drenagem provisória consiste na implantação de canaletas escavadas na camada de cobertura de cada célula. Essas canaletas devem ser instaladas no contato de cada célula com as ombreiras e junto às bordas externas das células.

A drenagem definitiva compreende os dispositivos relacionados aos sistemas de drenagem que funcionarão após a conclusão de cada célula e/ou após a conclusão do aterro, além de estradas de acesso definitivas.

São dispositivos que devem ser implantados com o alteamento do aterro de modo a proteger as áreas de trabalho, os taludes e o aterro de danos provocados pelas chuvas.

Os dispositivos mais comuns compreendem canaletas de berma, sarjetões, descidas d'água nos taludes, canaletas de concreto, descidas d'água em degraus, caixas de passagem, etc.

### **Drenagem de chorume**

O sistema de drenagem tem por objetivo coletar e remover o mais rapidamente possível os lixiviados gerados do interior do aterro sanitário, evitar a contaminação dos recursos hídricos e manter a estabilidade do aterro

Em geral, esses sistemas servem para drenar simultaneamente os percolados e os gases.

Os drenos para drenagem do chorume pode ser classificado de acordo com sua função em:

- drenos de talude;
- drenos horizontais;
- drenos de fundação ou de base.

### **Métodos para estimativa da geração de percolados**

Entre os vários fatores que influenciam o volume de lixiviado gerado, destacamos os seguintes:

- clima local (regime de precipitações pluviométricas, temperatura, velocidade e
- direção dos ventos, umidade relativa do ar);
- tipo de cobertura dos resíduos (material, espessura, periodicidade);
- umidade dos resíduos no momento do aterramento;
- grau de compactação dos resíduos;
- capacidade dos resíduos em reter umidade;
- infiltrações subterrâneas (no caso de não haver impermeabilização inferior).

### **Os métodos de estimativa de geração de percolados são: Suíço e Racional**

- O **Método Racional** baseia-se em três parâmetros: área da bacia de contribuição; intensidade e duração das chuvas e o coeficiente de escoamento, conforme Equação abaixo:
- O **Método Suíço** é um método de formulação simples, semelhante ao Método Racional, entretanto, não considera os efeitos da evaporação potencial e de baixa precisão.

## Atividade - Vazão de Percolados

1. Escolha um ano no quadro abaixo e estime a vazão de percolado produzido mensalmente no aterro de Pelotas – RS, no período escolhido, utilizando o método racional e o método suíço.

1985	1986	1987	1988
1989	1990	1991	1992
1993	1994	1995	1996
1997	1998	1999	2000

Considere os seguintes dados:

- Precipitação pluviométrica (mm) mensal de Pelotas para o ano escolhido. (EMBRAPA/ETB)  
<Disponível no Arquivo MPrecPluv>.
- Evaporação potencial (mm) mensal de Pelotas para o anos escolhido (EMBRAPA/ETB)  
<Disponível no Arquivo MEvapPot> .
- Índice de compactação dos resíduos – 0,7 ton/m3..
- Área do aterro – 5,0 há.
- Coeficiente de escoamento superficial – 0,3.
- Número de segundos em um mês – 2592000.

2. Exprese os resultados obtidos graficamente (mês x vazão de percolado em l/s) no formato de linha.

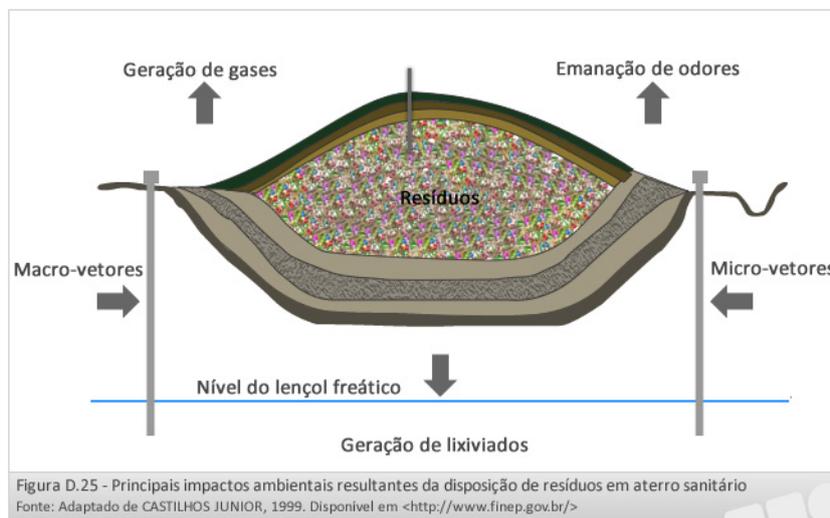
3. Compare e discuta os resultados obtidos e responda qual o método de maior confiabilidade.

## 4. SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE GASES DE ATERRO

Olá alunos(as), nesta unidade discutiremos o processo de geração de gás em aterros sanitários, seus impactos ambientais, estrutura para captação e sistemas de drenagem dos gases.

### Bom estudo!

Um aterro sanitário pode ser conceitualizado como um reator bioquímico, sendo os resíduos sólidos e a água as maiores entradas, e tendo como principais saídas o gás de aterro (ou biogás) e o líquido lixiviado (chorume), como podem ser observados na Figura D.25.



O material armazenado no aterro inclui matéria orgânica parcialmente biodegradada e os outros materiais inorgânicos inicialmente colocados no aterro sanitário.

A geração de metano (o denominado “gás dos pântanos”) resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica é um fenômeno presente na natureza ao longo dos tempos.

### Saiba mais

A produção do hidrocarboneto saturado mais simples, o metano, é um fenômeno presente na natureza ao longo dos tempos. O denominado “gás dos pântanos” foi descoberto por Shirley em 1667 e o reconhecimento do metano como um de seus componentes foi definido por Volta, em 1776. Posteriormente, em 1883, Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a primeira fermentação anaeróbia, produzindo 100 litros de gás por metro cúbico de uma mistura de esterco e água. Uma das primeiras unidades semi-industriais de produção data de 1895, no Reino Unido, onde foi construído um digestor de lodos obtidos por decantação de esgotos domésticos da cidade de Exeter. O gás produzido era usado na iluminação das ruas da cidade.

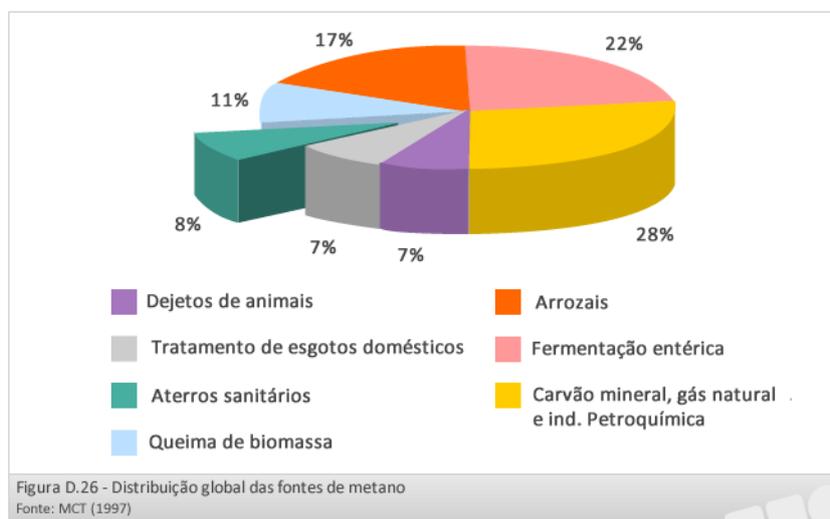
Por outro lado, é importante salientar que o metano, segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)<sup>1</sup>, faz atualmente parte do grupo dos “gases do efeito estufa” (GEEs).

O gás metano é considerado um gás combustível e suas emissões correspondem a 19% das emissões antrópicas dos GEEs. Estima-se uma geração de 370 a 400 Nm<sup>3</sup> de biogás, outro nome pelo qual é conhecido o metano, por tonelada de matéria seca digerida dos resíduos sólidos. Esses valores têm sido frequentemente utilizados em projetos de aterros brasileiros.

De acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), o metano natural corresponde a apenas 20% das emissões e as atividades humanas são responsáveis pelos 80% restantes, sendo que uma fração de 20% é oriunda da produção e do uso de combustíveis fósseis.

Após a confirmação de que, dentre as emissões mundiais de metano, cabem aos aterros sanitários controlados e aos lixões cerca de 8%, a preocupação com o gerenciamento do setor de resíduos sólidos e com a questão do aquecimento global aumentaram vertiginosamente nos últimos 10 anos

O gráfico da Figura D.26 demonstra a distribuição global das fontes de metano, segundo o MCT(1997).



O biogás de aterro é composto por alguns gases que estão presentes em grandes concentrações (os gases principais) e outros gases presentes em concentrações muito baixas (os gases traços). Os gases principais são gerados pela decomposição da fração orgânica dos resíduos urbanos. Alguns dos gases traços, também presentes em pequenas concentrações, podem ser tóxicos e podem causar risco à saúde humana.

Os constituintes típicos do biogás de aterro sanitário são mostrados na Tabela D4.

1 Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em <http://www.mct.gov.br/>

Componente	Quantidades		
	EMBRABI (Empresa Brasileira de Biodigestores) (s.d.)	ALVES et al. (1980)	National Academy of Sciences citada por OLIVEIRA (2002)
CH <sub>4</sub> (metano)	60 a 80	54 a 70	55 a 70
CO <sub>2</sub> (dióxido de carbono)	20 a 40	27 a 45	27 a 45
N <sub>2</sub> (nitrogênio)	0,5 a 2	0,5 a 3	3 a 5
H <sub>2</sub> (hidrogênio)	0,1 a 10	1 a 10	1 a 10
CO (monóxido de carbono)	máximo 0,1	0,1	0,1
O <sub>2</sub> (oxigênio)	máximo 0,1	0,1	0,1
H <sub>2</sub> S (gás sulfídrico)	máximo 0,1	traços	traços
H <sub>2</sub> O (água)	não cita	não cita	variável

Tabela D4 – Composição do biogás, segundo diferentes autores. Fonte: CAMPOS et al. (2011)<sup>2</sup>

## Geração de biogás em aterro

O biogás é produzido a partir da bioestabilização da matéria orgânica. Poucos dias depois da cobertura das camadas de resíduos, o oxigênio desaparece da célula de resíduos e as condições anaeróbias se instalam.

A geração de biogás em aterros sanitários é afetada por diversas variáveis, entre quais se pode citar:

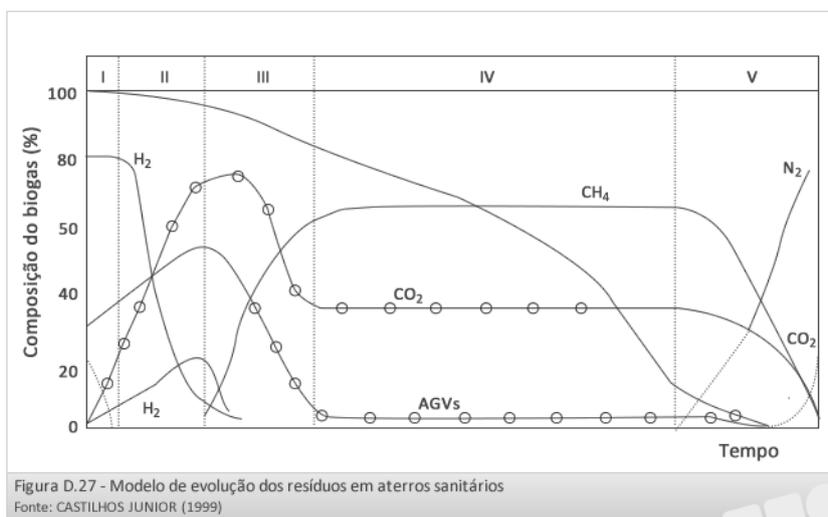
- natureza dos resíduos;
- umidade presente nos resíduos e no interior do aterro;
- tamanho das partículas dos resíduos;
- potencial hidrogeniônico (pH);
- temperatura;
- nutrientes;
- capacidade tampão;
- taxa de oxigenação (entrada de ar no aterro).

Durante a primeira fase de vida do aterro, o meio torna-se ácido, e por um curto período de tempo o gás produzido é constituído principalmente por hidrogênio. Em seguida, depois de um período de latência, cuja duração depende fortemente das condições locais (umidade, temperatura, compactação, entre outras), e onde a produção de gás é mínima e este é constituído quase inteiramente por gás carbônico, uma flora metanogênica estável se instala. A partir daí, a exalação de biogás torna-se regular e sua composição se estabiliza em torno dos valores típicos (aproximadamente 45% de CO<sub>2</sub> e 55% de CH<sub>4</sub>). Esse período pode durar vários anos, diminuindo depois progressivamente, na medida em que a matéria orgânica for sendo estabilizada (Figura D.27). Todavia, a relação entre metano e gás carbônico permanecerá constante por muito tempo ainda.

Importante notar, no entanto, que essa geração de gás não se dá instantaneamente nem de forma uniforme ao longo do tempo. Em condições normais, a taxa de decomposição, medida pela geração de gás,

<sup>2</sup> CAMPOS, A. T. *et al.* Energy analysis of tubular digesters using swine residues.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Proceedings online...** Available from: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022004000100013&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100013&lng=en&nrm=abn)>. Access on: 22 Sep. 2011.

atinge um pico nos primeiros dois anos e diminui gradativamente, continuando em muitos casos em períodos superiores a 25 anos.



## Fases de geração de biogás em aterro sanitário

De acordo com o apresentado na Figura D.27, as fases de geração de biogás em aterro sanitário dividem-se em:

- **Fase I: Ajuste inicial** - Fase em que os resíduos são depositados no aterro. Sua fração biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias.
- **Fase II: Transição** - Fase em que decrescem os níveis de oxigênio e começa a fase anaeróbia. Características: queda do potencial de óxido redução, conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos, o pH do chorume começa a cair.
- **Fase III: Ácida** - Fase que antecede a formação de metano, em que as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas. Características: micro-organismos não etanogênicos, as demandas de DBO e DQO aumentam, a condutividade do chorume aumenta o pH baixo (4 a 5), metais pesados são solubilizados.
- **Fase IV: Metanogênica** - Presença predominante de micro-organismos estritamente anaeróbios (metanogênicos). Características: O pH entre 6,8 a 8,0; redução da concentrações de DBO, DQO ; redução da concentração de metais pesados no chorume.
- **Fase V: Maturação** - Esta fase ocorre após grande quantidade do material ter sido biodegradado e convertido em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  durante a fase metanogênica. Características: A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta.

## Usos do Gás

O biogás, por conter um elevado teor de metano ( $\text{CH}_4$ ), possui diversas aplicações de caráter energético.

Embora sua principal aplicação seja como combustível em um motor de combustão interna a gás, que movimenta um gerador de energia elétrica, ele pode ser direcionado também para outros fins.

Entre suas possíveis aplicações, destacam-se a produção de calor de processo, secagem de grãos em propriedades rurais, secagem de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), queima em caldeiras, aquecimento de granjas, iluminação a gás, tratamento de chorume, entre outros.

Independentemente da melhor alternativa técnica para utilização do metano proveniente da biodegradação do lixo, uma parte importantíssima do projeto é o sistema para a extração do biogás do aterro.

## **Algumas formas viáveis de utilização do biogás**

### **a) Uso local**

Enfoque mais simples e apresenta uma melhor relação custo-eficiência. Como exemplo dessa utilização pode-se citar o uso em cozinhas, aquecedores de água, calefação, etc.

### **b) Uso veicular**

Nesse caso, o biogás é utilizado para acionar caminhões recolhedores de lixo para que o leve até o aterro ou a um lixão aberto. Apesar de o biogás poder ser utilizado em qualquer aplicação destinada ao gás natural, para seu uso veicular existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes, tais como: umidade, ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e partículas.

Segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo) na Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e máxima de CO<sub>2</sub> de 5%.

### **c) Geração de eletricidade**

Para a geração de energia elétrica, o biogás é empregado como combustível em turbinas ou em motor à combustão que acionam geradores. A eletricidade gerada é então distribuída por meio da rede elétrica até os consumidores.

Entre as tecnologias para conversão energética de biogás mais utilizadas atualmente, destacam-se os motores de combustão interna – Ciclo Otto e as microturbinas. (Esse assunto será melhor discutido no próximo conteúdo).

Essa utilização é a que mais cresce no Brasil e em outros países. *Atualmente, no Brasil, existem 40 projetos no âmbito do MDL desenvolvidos em aterros sanitários, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE por meio da mitigação de emissões de CH<sub>4</sub> nos próximos anos, dos quais 25 estão registrados pelo Conselho Executivo no UNFCCC, 14 estão em fase de validação no Comitê Executivo e apenas 1 foi encaminhado para revisão do pedido (UNEP, 2009).*

Esse interesse deve-se a questões ambientais e a incentivos econômicos como os certificados de redução de emissões (CER).

Os CERs modalidade de mecanismo financeiro instituído pelo protocolo de Quioto (1997) possibilitam aos países desenvolvidos cumprir a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa e o financiamento de projetos de redução e/ou sequestro de emissões em países em desenvolvimento.

Países que não conseguirem reduções domésticas poderão adquirir “títulos” (CER) para atender suas metas.

CERs são baseados em projetos, como:

- Substituição de fonte de energia: diesel para eólica e/ou solar.
- Sequestro de carbono por atividades florestais.
- Captura de “metano” de aterros sanitários.

## **Parada Obrigatória**

Leia o boletim “Biogás em aterros sanitários e Créditos de Carbono, do Ministério das Cidades

Para que uma empresa tenha direito a vender créditos de carbono, precisa cumprir dois requisitos: contribuir para o desenvolvimento sustentável e adicionar alguma vantagem ao ambiente, seja pela absorção de dióxido de carbono (por exemplo, com o plantio de árvores), seja por evitar o lançamento de

gases do efeito estufa na atmosfera - a quantidade de CO<sub>2</sub> que ela retirar ou deixar de despejar na atmosfera é que pode ser convertida em créditos de carbono. Do total desses créditos disponíveis para venda no mercado, 15% vêm do Brasil.

### Saiba mais

A primeira venda de créditos de carbonos em projeto de captação de metano em aterro sanitário foi em 2007. Na ocasião, foram vendidos 808.450 créditos de carbono. O comprador foi o banco holandês FORTIS BANK, que pagou 16,20 euro/tonelada, perfazendo o total de 13.096,89 euros, ou R\$ 34 milhões. Os recursos obtidos no leilão foram investidos na melhoria das condições de vida dos moradores da região do aterro.

### Dica

Para conhecer os projetos de MDL em aterros sanitários no Brasil acesse  
<[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/flash/mudancasclimaticas/biogas/flash/mdl\\_brasil/portugues/projetos\\_aterros\\_brasil\\_10\\_br.swf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/flash/mudancasclimaticas/biogas/flash/mdl_brasil/portugues/projetos_aterros_brasil_10_br.swf)>

## Drenagem de gases

Em relação à estrutura dos aterros sanitários, o controle da emissão de biogás reduz a chance de instabilidade do aterro, minimiza a migração desses gases para áreas adjacentes ao aterro, ocasionando infiltrações nos sistemas de esgoto, e melhora o bem-estar da população vizinha ao aterro, graças à redução dos odores produzidos pela emissão de mercaptanas e compostos com enxofre.

Dessa forma, os principais objetivos do sistema de drenagem de gases em aterros sanitários são:

- Proteger contra emissões de odores e mau cheiro.
- Proteger contra impactos de migração de gás através dos solos nativos para prédios e para os serviços.
- Impedir preocupações sobre qualidade do ar associadas às emissões de gás de aterro.
- Reduzir emissões à atmosfera.
- Otimizar a recuperação do gás de aterro para uso como combustível ou produto de energia.

### Sistema para extração e tratamento do biogás do aterro

Usualmente, para grandes aterros, costuma-se planejar a implantação do sistema de extração em fases, ampliando as instalações conforme o aumento da geração de biogás, de forma a reduzir o investimento inicial.

O sistema de extração é composto basicamente por drenos horizontais e verticais.

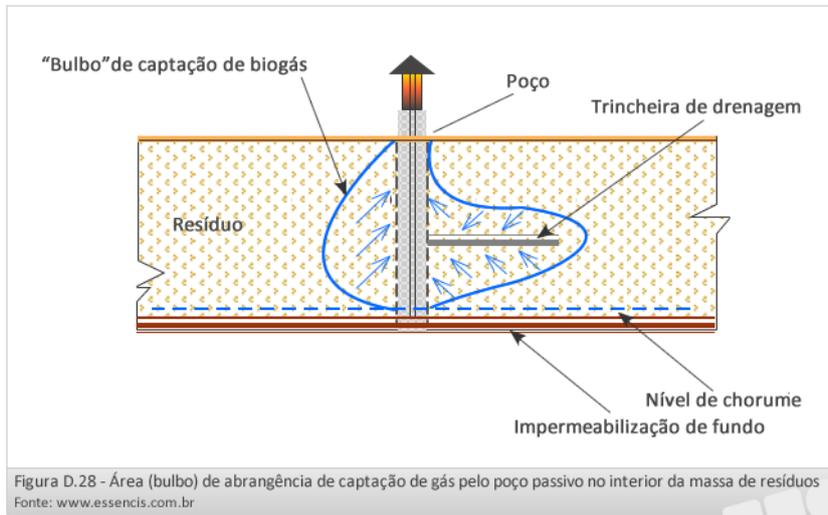
Os drenos existentes na grande maioria dos aterros sanitários brasileiros e que apresentam boa vazão de biogás poderão ser adaptados e integrados ao sistema de captação. A adaptação consiste na impermeabilização da parte superior dos drenos, instalação de um cabeçote e interligação ao sistema de coleta.

Os sistemas de drenagem de gases de aterro sanitário podem ser classificados em: Sistema Passivo e Sistema Ativo

### Sistema Passivo

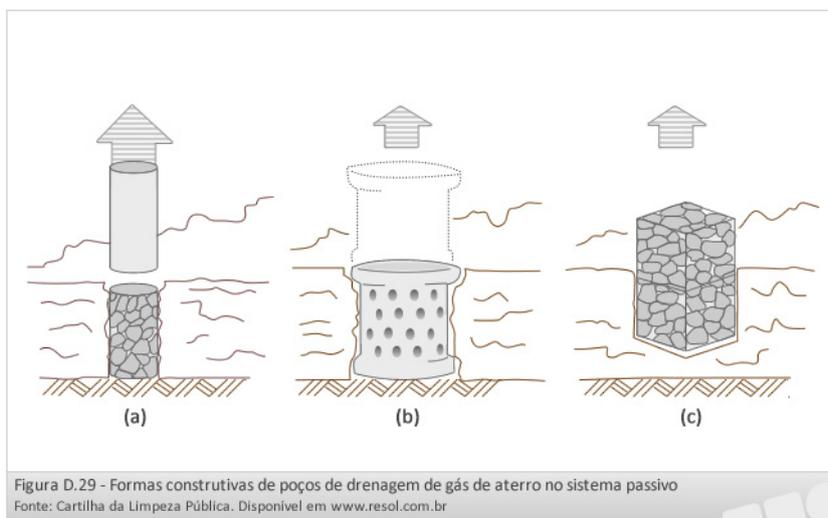
O biogás é queimado no topo dos poços (cabeça do poço), com uma eficiência de combustão de até 90%. A quantidade de biogás que chega nesses poços está localizada em torno da estrutura, que é drenado naturalmente. Conseqüentemente, a eficiência de destruição do gás varia de 5 a 20% do total de gás produzido, dependendo do tipo e condições da área. Esse sistema é o mais utilizado no Brasil.

A Figura D.28 ilustra a área (bulbo) de abrangência do poço passivo no interior da massa de resíduos.



### Sistema Passivo: Formas usuais de construção dos drenos

- Utilizando-se um tubo guia dentro do qual são colocadas pedras britadas nº 3 e 4 (10 cm), com o tubo sendo elevado conforme a cota do aterro (Figura D.29a).
- Utilizando-se tubos perfurados de concreto com diâmetro de 0,5 ou 1 m sobrepostos conforme a cota do aterro (Figura D.29b).
- Utilizando-se uma forma feita de tela, onde se colocam pedras (Figura D.29c).
- A profundidade máxima dos poços verticais deve ser restringida entre 80% e 90% da altura do aterro, de forma a evitar danos à impermeabilização de base.



### Características construtivas

Os poços são constituídos por tubos perfurados de concreto envoltos por uma camada de rachão de espessura não inferior a 0,50m, mantida junto aos tubos, através da instalação de uma tela metálica (Figura D.30 e D.31).



Figura D.30 - Método construtivo do sist. passivo de drenagem de gases de aterro  
Fonte: do autor

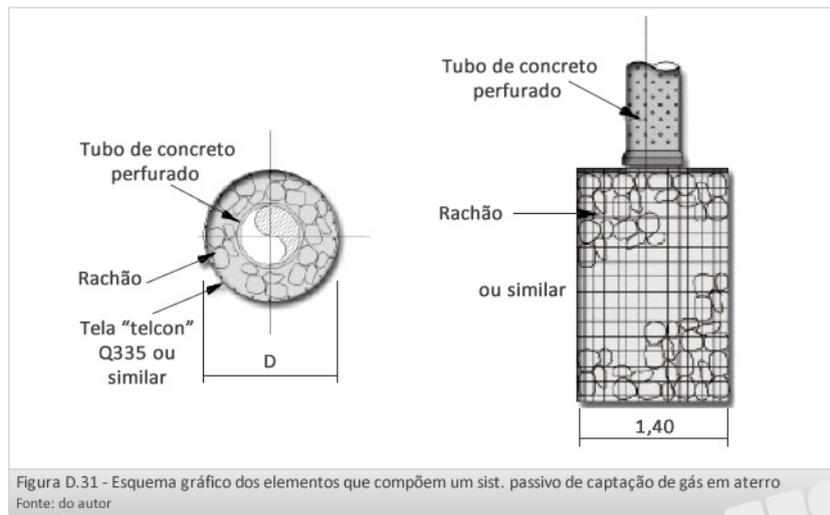


Figura D.31 - Esquema gráfico dos elementos que compõem um sist. passivo de captação de gás em aterro  
Fonte: do autor

A figura D.32 apresenta um esquema gráfico dos elementos que compõem um sistema passivo de captação de gás em aterro, muito utilizado no Brasil por sua simplicidade e baixo custo.

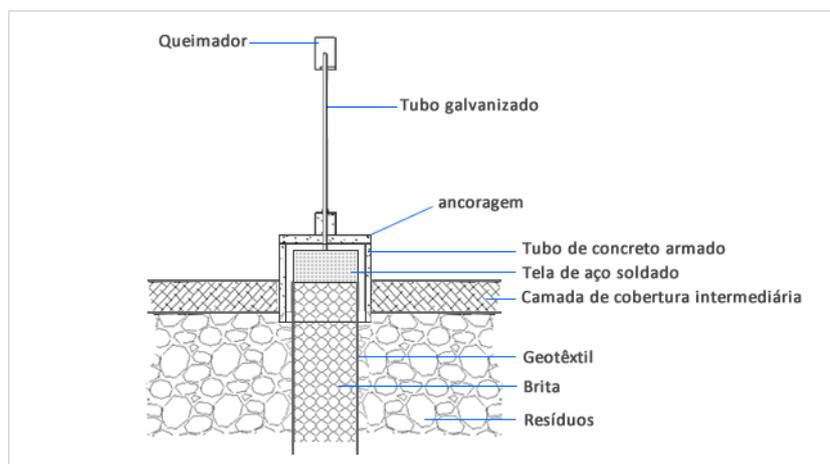


Figura D.32 - Elementos construtivos de um poço de captação passiva de gás  
Fonte: do autor

A figura D.33 mostra o queimador (Flare) do sistema de captação de gás de aterro do aterro controlado do município de Pelotas, RS.

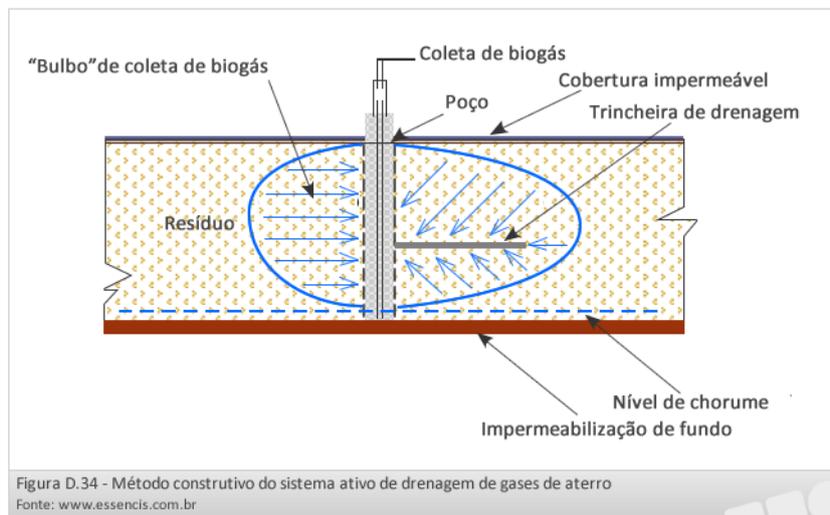


### Sistemas ativos

O biogás é coletado por exaustão forçada (sucção) provida por equipamentos denominados de sopradores, instalados no sistema. O aterro deve apresentar um sistema de impermeabilização superior para evitar a fuga do gás para a superfície.

A eficiência de Coleta no sistema ativo é superior a 80% em relação ao total de gás produzido no aterro. Além disso, a eficiência da combustão no flare é superior a 90%. Esse sistema é indicado para aterros que visem ao reaproveitamento do biogás.

A Figura D.34 ilustra a área (bulbo) de abrangência do poço ativo no interior da massa de resíduos.



Uma vantagem desse sistema é a redução de odores desagradáveis, devido ao escape de gases pela camada de revestimento do aterro, uma vez que há a tendência de entrada de oxigênio e nitrogênio da atmosfera. A figura D.35 mostra exemplos de poços do sistema de captação ativo.



Figura D.35 - Características de poços de captação de gases de aterro do sistema ativo  
Fonte: do autor

A figura D.36 apresenta um esquema gráfico dos elementos que compõem um sistema ativo de captação de gás em aterro, utilizado principalmente em aterros cujo projeto visa à captação do biogás para fins energéticos.

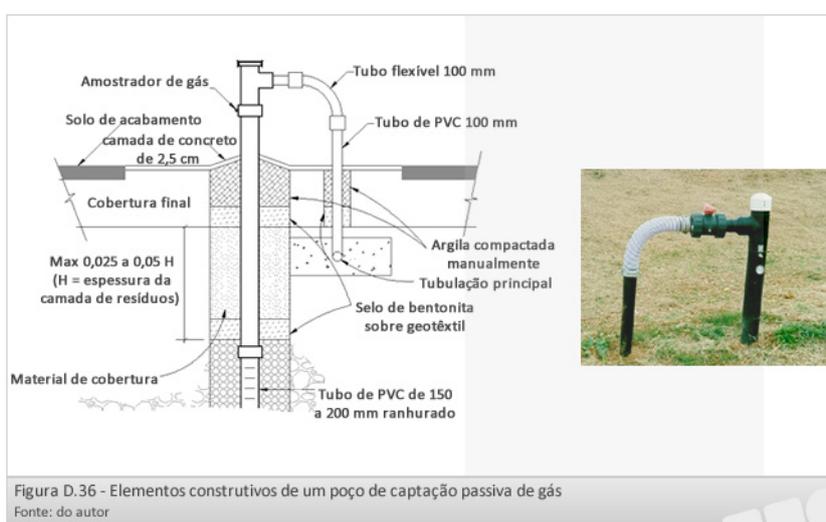


Figura D.36 - Elementos construtivos de um poço de captação passiva de gás  
Fonte: do autor

## Dimensionamento dos drenos de biogás

Podem ser utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais para a retirada do gás dos aterros. Os drenos verticais de gás são os mais utilizados, sendo que, neste caso, sempre são interligados com os drenos horizontais de lixiviados. Na verdade, o sistema funciona como sendo um sistema misto. Os drenos horizontais que drenam os lixiviados também conduzem os gases na sua parte superior. Quando os drenos de lixiviados interceptam os drenos de gás, o biogás sobe por estes últimos.

Da mesma forma, quando os drenos intermediários de lixiviados das camadas mais superiores do aterro interceptam os drenos verticais de gás, o lixiviado desce por esses drenos até chegar ao fundo do aterro e ser conduzido para fora pelo sistema de drenos de fundo.

Para dimensionar o dreno vertical, podem-se utilizar equações de fluxo de fluídos (neste caso um gás) em meios porosos (brita) ou mesmo em tubulações. Mas pelas vazões relativamente baixas nos drenos verticais; e como é desejável manter-se pequenas pressões e baixas velocidades no interior dos drenos, de modo a permitir que o lixiviado que chega aos drenos verticais desça ao fundo do aterro, em vez de ser arrastado até a superfície pela velocidade ascendente excessiva do biogás, normalmente, adota-se um dimensionamento empírico do sistema vertical de drenos. Neste caso, adotam-se grandes diâmetros que resultam numa velocidade ascensional mais baixa. Os diâmetros adotados em projeto variam de 50 a 100 cm, sendo preenchidos com rocha brita 3, 4 ou 5.

Aterros maiores e de maior altura podem possuir drenos verticais de até 150 cm de diâmetro.

No interior dos drenos verticais pode-se colocar tubulação perfurada de PVE ou de polietileno com diâmetros variando entre 100 e 150 mm. Neste caso, o queimador apresenta grande diâmetro.

No projeto, a distribuição em planta dos drenos verticais de gases é feita considerando um raio de influência, ou de captação de biogás, de cada dreno pode variar de 15 a 30 m.

Uma vez definido o raio de influência de cada dreno, o projetista faz a distribuição dos drenos verticais em planta, de modo a haver sobreposição dos raios de influência.

## Resumo

Um aterro sanitário pode ser conceitualizado como um reator bioquímico sendo alimentado por resíduos sólidos e água e produzindo gás de aterro (ou biogás) e lixiviado (chorume). Ambos os produtos gerados apresentam alto potencial poluidor e precisam ser captados e tratados adequadamente.

O biogás de aterro é composto por alguns gases que estão presentes em grandes concentrações (gases principais) e outros presentes em concentrações muito baixas (gases traços).

Dentre os gases principais está o Metano ( $\text{CH}_4$ ), considerado um gás combustível segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)<sup>3</sup>, faz atualmente parte do grupo dos “gases do efeito estufa” (GEEs).

O biogás é produzido a partir da bioestabilização da matéria orgânica. Poucos dias depois da cobertura das camadas de resíduos, o oxigênio desaparece da célula de resíduos e as condições anaeróbias se instalam.

### Fases de geração de biogás em aterro sanitário

De acordo com o apresentado na Figura D.18, as fases de geração de biogás em aterro sanitário dividem-se em:

- **Fase I: Ajuste inicial** - Fase em que os resíduos são depositados no aterro sua fração biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias.
- **Fase II: Transição** - Fase em que decrescem os níveis de oxigênio e começa a fase anaeróbia.
- **Fase III: Ácida** - Fase que antecede a formação de metano, em que as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas.
- **Fase IV: Metanogênica** - Presença predominante de micro-organismos estritamente anaeróbios (metanogênicos).
- **Fase V: Maturação** - Esta fase ocorre após grande quantidade do material ter sido biodegradado e convertido em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  durante a fase metanogênica.

### Usos do Gás

O biogás, por conter um elevado teor de metano ( $\text{CH}_4$ ), possui diversas aplicações de caráter energético. Algumas formas viáveis de utilização do biogás

- **Uso local**
- **Uso veicular**
- Geração de eletricidade

Para geração de energia elétrica, o biogás é empregado como combustível em turbinas ou em motor à combustão que acionam geradores. A eletricidade gerada é então distribuída por meio da rede elétrica até os consumidores.

Essa utilização é a que mais cresce no Brasil e em outros países. *Atualmente, no Brasil, existem 40 projetos no âmbito do MDL desenvolvidos em aterros sanitários, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE, por meio da mitigação de emissões de  $\text{CH}_4$  nos próximos anos, dos quais 25 estão registrados pelo Conselho Executivo no UNFCCC, 14 estão em fase de validação no Comitê Executivo e apenas 1 foi encaminhado para revisão do pedido (UNEP, 2009).*

### Drenagem de gases

Em relação à estrutura dos aterros sanitários, o controle da emissão de biogás reduz a chance de instabilidade do aterro, minimiza a migração desses gases para áreas adjacentes ao aterro, ocasionando infiltrações nos sistemas de esgoto, e melhora o bem-estar da população vizinha ao aterro, graças à redução dos odores produzidos pela emissão de mercaptanas e compostos com enxofre.

<sup>3</sup> Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em <http://www.mct.gov.br/>

Dessa forma, os principais objetivos do sistema de drenagem de gases em aterros sanitários são:

- Proteger contra emissões de odores e mau cheiro.
- Proteger contra impactos de migração de gás através dos solos nativos para prédios e para os serviços.
- Impedir preocupações sobre qualidade do ar associadas às emissões de gás de aterro.
- Reduzir emissões à atmosfera.
- Otimizar a recuperação do gás de aterro para uso como combustível ou produto de energia.

### **Sistema para extração e tratamento do biogás do aterro**

Usualmente, para grandes aterros, costuma-se planejar a implantação do sistema de extração em fases, ampliando as instalações conforme o aumento da geração de biogás, de forma a reduzir o investimento inicial.

O sistema de extração é composto basicamente por drenos horizontais e verticais.

Os drenos existentes na grande maioria dos aterros sanitários brasileiros e que apresentam boa vazão de biogás poderão ser adaptados e integrados ao sistema de captação. A adaptação consiste na impermeabilização da parte superior dos drenos, instalação de um cabeçote e interligação ao sistema de coleta.

Os sistemas de drenagem de gases de aterro sanitário podem ser classificados em: Sistema Passivo e Sistema Ativo

Sistema Passivo	Sistemas Ativos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O biogás é queimado no topo dos poços (cabeça do poço).</li> <li>• Eficiência de combustão de até 90%.</li> <li>• Eficiência de destruição do gás varia de 5 a 20% do total de gás produzido.</li> <li>• Sistema mais utilizado no Brasil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O biogás é coletado por exaustão forçada (sucção) provida por equipamentos denominados de sopradores.</li> <li>• O aterro deve apresentar um sistema de impermeabilização superior, para evitar a fuga do gás para a superfície.</li> <li>• Eficiência de Coleta no sistema ativo é superior a 80% em relação ao total de gás produzido no aterro.</li> <li>• Eficiência da combustão no flare é superior a 90%. Sistema indicado para aterros que visem ao reaproveitamento do biogás.</li> </ul>



## 5. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA EXTRAÇÃO DO GÁS DE ATERRO PARA FINS ENERGÉTICO

### Atividade motivadora

Para melhor compreensão do tema, assistam aos vídeos clicando nos links abaixo:

<http://www.youtube.com/watch?v=kOrL3QSakxs&feature=related>

<http://video.google.com/videoplay?docid=6190567312256478902>

### Dica

Procurem novos vídeos sobre o assunto e compartilhem com os colegas!

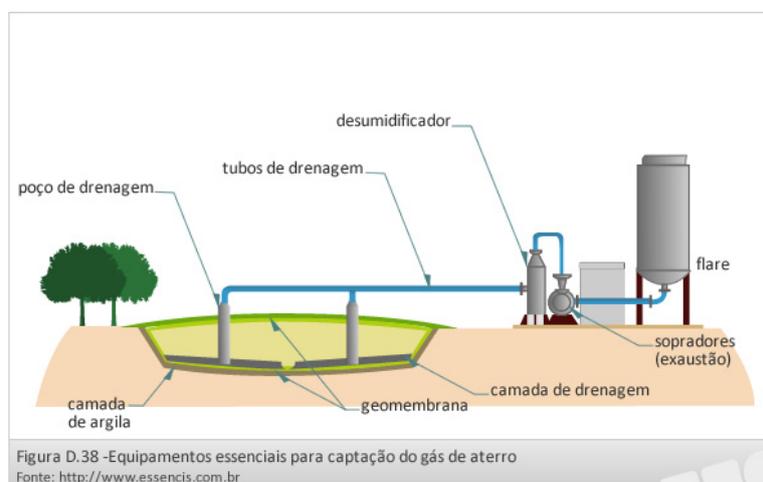
### Introdução

Um sistema padrão de coleta do biogás de aterro é composto por poços de coleta e tubos condutores, sistema de compressão e sistema de purificação do biogás.

O sistema de coleta possui tubos verticais perfurados ou canais e em alguns casos membrana protetora. Além disso, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética possui flare para queima do excesso do biogás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos.

Na Figura D.38 são apresentados os equipamentos essenciais para captação de gás de aterro para fins energéticos

Posteriormente iremos discutir em detalhes a finalidade de cada um desses equipamentos.



## Captação do Biogás

O sistema de captação do gás de aterro é composto por um conjunto de poços e uma rede de tubulação de PEAD (Polietileno de alta densidade) como mostrado na Figura D.39.

Em aterros sanitários construídos conforme a norma nacional vigente, já está prevista a colocação dessa tubulação para a coleta do gás.



Figura D.39 - Cabeça de poço de captação de gás metano  
Fonte: Michel Gerber (2006)

Cada uma das pontas do tubo é conectada a uma tubulação lateral que transporta o gás para um coletor principal.

O sistema de coleta deve ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás se necessário.

As tubulações provenientes dos drenos são interligadas aos pontos de regularização de fluxo ou manifolds (Figura D.40). E estes são interligados a uma linha principal, que conduz o biogás para os sistemas de queima (flare) e/ ou para o grupo de geradores.

A força motriz para a extração do biogás é a pressão negativa gerada por um conjunto de sopradores interligados à linha principal.



Figura D.40 - Unidade de controle do fluxo de gás metano (manifold)  
Fonte: Vidal Cavalcante/AE

Na linha de entrada do sistema, a vazão de biogás é controlada diretamente por uma válvula borboleta e indiretamente por um inversor de frequência acoplado ao motor do soprador, o qual é acionado através de um transmissor de pressão, instalado na linha de sucção. Assim, o inversor de frequência regula o ponto de operação do motor do soprador em função da pressão, mantendo a vazão do processo constante.

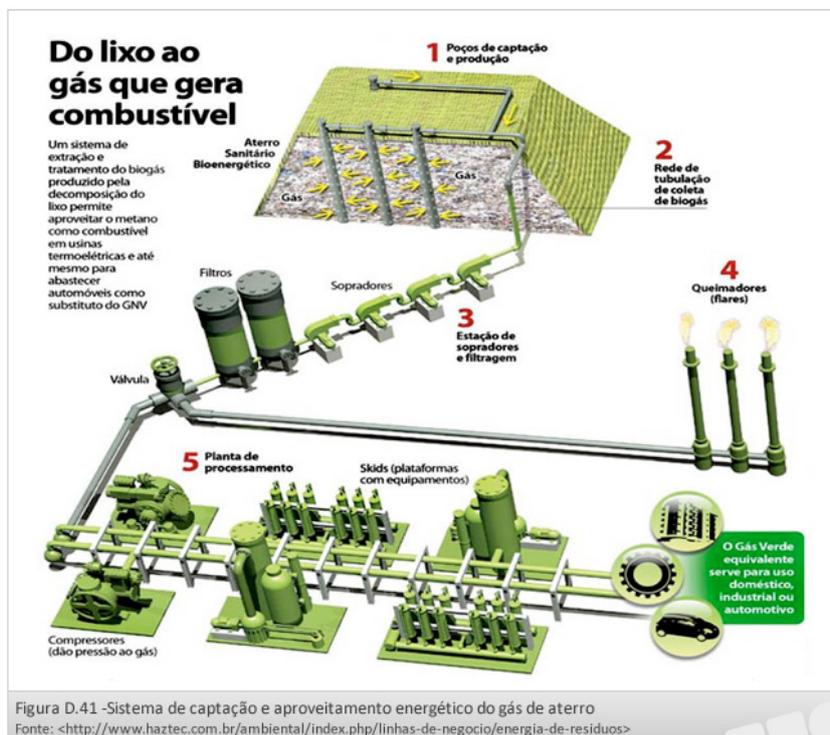
Na mesma linha normalmente é instalado um termômetro, com a finalidade de indicar localmente a temperatura do gás no interior da tubulação. A primeira etapa de tratamento do biogás extraído ocorrerá pela passagem do mesmo através de um filtro, para a remoção de material particulado eventualmente arrastado juntamente com o gás.

À montante e à jusante deste filtro são instalados medidores de pressão (vacuômetros) que possibilitam o monitoramento do aumento da perda de carga e permitem identificar o momento da troca do elemento filtrante.

## Sistema de Compressão

A sucção do gás dos poços de coleta é realizada por um compressor. Os compressores também podem ser necessários para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerão da taxa do fluxo de gás e do nível de compressão desejado, que pode ser determinado pelo equipamento de conversão energética.

A Figura D.41 apresenta um esquema gráfico do sistema de captação de gás de aterro e do reaproveitamento energético.



## Sistema de Tratamento de Condensado

Juntamente com o biogás é captado vapor de água que condensa após o resfriamento do biogás na tubulação de captação (Figura D.42). Esse condensado deve ser removido do sistema de coleta e deve ser devidamente tratado juntamente com o chorume produzido no aterro.



Figura D.42 - Chorume condensado após drenagem do gás de aterro  
 Fonte: Michel Gerber (2006)

O controle do condensado tem início no sistema de coleta onde são utilizados conectores e tubos inclinados para permitir a drenagem em tanques e, após a coleta, o condensado é removido. Os métodos para disposição do condensado são: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, e recirculação para o aterro sanitário.

O melhor método dependerá das características do condensado (em função dos componentes do lixo local), do custo do tratamento, além da legislação e regulação vigentes.

## Sistema de Tratamento do Biogás

Após a coleta e antes da sua utilização no processo de conversão de energia, o biogás é tratado para a remoção de algum condensado que não foi coletado, assim como particulados e impurezas em geral. Para sua utilização em caldeiras, um tratamento mínimo é requerido; em gasodutos é indispensável um tratamento extensivo para remover o CO<sub>2</sub>. No caso da geração de energia podem ser utilizados filtros para a remoção de impurezas, visto que estas podem danificar os componentes do motor ou da turbina, reduzindo a eficiência do sistema.

O gás tratado é direcionado para sistemas de geração de vapor (caldeiras, fornos) ou sistemas geradores de energia elétrica (motores estacionários), podendo ser igualmente aproveitado o calor rejeitado para aquecimento de água.

## Sistema de conversor de energia

A conversão energética do biogás é o processo de transformação da energia química das moléculas do biogás, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica, que por sua vez será convertida em energia elétrica.

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna, que estão detalhadas a seguir. Existem também tecnologias emergentes como as células de combustíveis que, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, pode ser considerada uma tecnologia promissora

### Motores combustão interna

O motor ciclo Otto é o equipamento mais utilizado para queima do biogás, devido ao maior rendimento elétrico e menor custo quando comparado às outras tecnologias. Para promover a queima de biogás em motores ciclo Otto, são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão (Figura D.43).



Figura D.43 - motor Ciclo Otto 4 tempos. Aterro Maldonado, Uruguai  
Fonte: Michel Gerber (2006)

### Saiba mais

Os motores ciclo Otto aspiram a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por centelha produzida na vela de ignição. Esses motores são chamados de 4 tempos, pois seu funcionamento ocorre sequencialmente em quatro etapas.

## Vantagens

- Geração de energia elétrica para o próprio consumo do aterro;
- Economia de R\$ em relação à energia proveniente da concessionária;
- Possibilidade de obtenção de receita adicional pela venda de excedente de energia;
- Possibilidade de obtenção e comercialização de créditos de carbono (considerada 100% de eficiência de queima).

## Desvantagens

- Motores de grande porte são importados, já que, no Brasil, a maior potência disponível é de aproximadamente 230 kW. Isso faz com que o investimento inicial seja elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 5 kW a 1,6 MW;
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%;
- Altos valores de emissão de NOx (gás de grande impacto ambiental).
- Dependendo do porte do motor, a emissão de NOx varia entre 250 e 3.000 ppm (parte por milhão).

## Microturbinas

Nas microturbinas (Figura D44) o ar é aspirado e forçado para seu interior à alta velocidade e pressão, misturado ao combustível (biogás) para, então, ser queimado na câmara de combustão.



Figura D.44 - Microturbina de geração de energia  
Fonte: <<http://www.labcet.ufsc.br>>

Os gases quentes resultantes da combustão são expandidos na turbina e o calor remanescente dos gases de exaustão pode ser aproveitado para aquecimento do ar de combustão (Figura D.45).

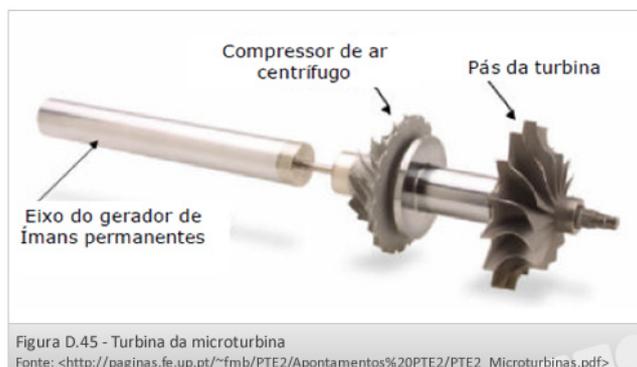


Figura D.45 - Turbina da microturbina  
Fonte: <[http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2\\_Microturbinas.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2_Microturbinas.pdf)>

### **Vantagens**

- Além das vantagens apresentadas nos motores ciclo Otto, as microturbinas apresentam os seguintes benefícios.
- Baixos níveis de ruídos e vibrações.
- Flexibilidade de combustível, dentre eles o biogás.
- Dimensões reduzidas e simplicidade de instalação, podendo ser instaladas em locais cobertos ou ao ar livre.
- Baixas emissões de NOx.

### **Desvantagens**

- Equipamentos importados: investimento inicial elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 30 kW a 1,0 MW.
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%. Porém, quando utilizadas em instalações de cogeração, sua eficiência pode chegar a mais de 80%.
- Alto custo de operação e manutenção, quando comparada a outras tecnologias existentes.
- Necessidade de um rígido sistema de limpeza do biogás e remodelação da microturbina para sua queima, já que é um gás de baixo poder calorífico.

## 6. QUEIMA DO BIOGÁS

O *flare* (Figura D.46) é um dispositivo utilizado na ignição e queima do biogás. É considerado um componente de cada opção de recuperação de energia, visto que pode ser necessário durante as etapas de início do processo e manutenção do sistema.

Também pode ser utilizado para queima do biogás excedente entre os *upgrades* de sistemas, podendo ser abertos (ou vela) ou enclausurados. Estes últimos são mais caros, mas podem ser requeridos porque proporcionam testes de concentração e podem obter eficiências de combustão altas. Além do que, *flares* enclausurados podem reduzir o nível de ruído e iluminação.



### Parada obrigatória

Para um melhor entendimento do sistema de captação de gás em um aterro e do sistema de reaproveitamento energético do mesmo assista as animações listadas nos links:

[http://www.youtube.com/watch?v=CROSTc\\_Ajp8](http://www.youtube.com/watch?v=CROSTc_Ajp8)

<http://www.youtube.com/user/Planeta3DTV#p/u/1/rF8ujMrZ8sc>

## 7. MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE GÁS

Existem diferentes métodos de estimativa da quantidade de gás de aterro ou biogás gerado, desde métodos que apresentam uma aproximação grosseira, considerando somente a quantidade de resíduo sólido doméstico, disposto no aterro, até métodos que consideram a cinética de geração de biogás em função de importantes parâmetros: condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo.

Algumas metodologias para estimativas teórica da produção de gás metano em locais de deposição de resíduos sólidos urbanos são encontradas na literatura. Esses métodos variam em suas considerações, em sua complexidade e na quantidade de dados de que necessitam.

Os mais conhecidos e empregados são os modelos recomendados pelo Banco Mundial, pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) e pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A seguir é feita uma breve revisão sobre os referidos modelos.

### Modelo recomendado pelo Banco Mundial

Conhecido como Scholl-Canyon, esse modelo é recomendado pelo Banco Mundial por ser simples, de fácil aplicação e o mais empregado pelas agências reguladoras e instituições financeiras que apoiam os projetos de aproveitamento do biogás de aterros na América do Sul.

Esse modelo baseia-se na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro sanitário por unidade de tempo, o que se expressa a partir da seguinte equação de primeira ordem:

$$Q_{\text{CH}_4} = k \cdot L_o \cdot R_i \cdot e^{-kt}$$

Em que:

- $Q_{\text{CH}_4}$  = quantidade de gás gerado durante um ano ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )
- $k$  = constante de decaimento anual de metano ( $\text{ano}^{-1}$ )
- $L_o$  = potencial de geração de metano em peso de resíduo ( $\text{m}^3/\text{kg}$  de resíduo)
- $R_i$  = quantidade de resíduos depositados no ano "i" ( $\text{kg}$  de resíduo/ano)
- $t$  = anos após o encerramento do aterro (anos)

### Modelo desenvolvido pela USEPA

Também chamado de Landfill Gas Emission Model (Landgem), foi desenvolvido pela EPA e consta na legislação federal dos EUA sobre diretrizes e regras finais para aterros sanitários ativos e encerrados. É bastante empregado, tendo sido utilizado inclusive no estudo do potencial de geração de energia nos municípios brasileiros realizado pelo Ministério do Meio Ambiente.

Esse método é recomendado para aterros sanitários ainda na fase de projeto, pois ainda não se sabe realmente qual será o fluxo anual de resíduos. Conforme CETESB/SMA (2003), esse método se divide em duas etapas: enquanto o aterro recebe resíduos e após o seu fechamento.

Enquanto o aterro está aberto, o termo de cinética  $e^{-k \cdot c}$  será igual a 1. Após o fechamento, esse termo de

cinética deverá ser considerado. Assim, pode-se dividir essa equação em duas:

- durante a vida útil:

$$Q_{\text{CH}_4} = F.R.L_0(1 - e^{-kt})$$

- após o fechamento do aterro

$$Q_{\text{CH}_4} = F.R.L_0(e^{-kc} - e^{-kt})$$

Sendo:

- $Q_{\text{CH}_4}$  = metano gerado ( $\text{m}^3/\text{ano}$ );
- $F$  = fração de metano no biogás (%);
- $R$  = quantidade de resíduos depositados anualmente durante a vida útil do aterro ( $\text{kg RSD}/\text{ano}$ );
- $L_0$  = potencial de geração de biogás ( $\text{m}^3$  de biogás/ $\text{kg RSD}$ );
- $k$  = constante de decaimento ( $\text{ano}^{-1}$ );
- $c$  = tempo decorrido desde o fechamento do aterro (ano);
- $t$  = tempo decorrido desde a abertura do aterro (anos).

Os parâmetros  $L_0$  e  $k$  são comuns a todos os modelos e considerados os mais importantes, pois refletem variações de acordo com o local, o clima e a composição dos resíduos, entre outros. A constante, taxa de geração de metano ( $k$ ), representa a velocidade de decomposição biológica dos resíduos após a disposição no aterro sanitário e é influenciada pelo teor de umidade, pela disponibilidade de nutrientes, pelo pH e pela temperatura.

Os valores de  $k$  variam de 0,003, para aterros secos, a 0,21, para aterros úmidos. Estima-se que essa margem reflita as diferentes características geográficas do país e certas condições do aterro.

A constante de decaimento é função de fatores como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e principalmente umidade. Os valores sugeridos para  $k$  podem variar de 0,01 ano<sup>-1</sup> a 0,09ano<sup>-1</sup> conforme pode ser observado na tabela D3.

Precipitação anual	Valores para $k$ (ano <sup>-1</sup> )		
	Relativamente inerte	Decomposição moderada	Decomposição alta
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 a <500mm	0,01	0,03	0,05
>500 a <1000 mm	0,02	0,05	0,08
>1000 mm	0,02	0,06	0,09

Tabela D3 – Valores da constante de decaimento ( $k$ ) dos resíduos sólidos dispostos em aterro sanitário.

Fonte: do autor.

O potencial de geração de metano ( $L_0$ ) representa a produção total de metano ( $\text{m}^3$  de metano por kilo de resíduos sólido). O valor de  $L_0$  é dependente da composição do resíduo e, em particular, da fração de matéria orgânica presente.

O valor de  $L_0$  é estimado com base no conteúdo de carbono do resíduo, na fração de carbono biodegradável e num fator de conversão estequiométrico. Valores típicos para esse parâmetro variam de 125  $\text{m}^3$  de tonelada de  $\text{CH}_4$ /tonelada de resíduo a 310  $\text{m}^3$  de tonelada de  $\text{CH}_4$ /tonelada de resíduo.

A maior compactação do resíduo não tem efeito direto no parâmetro de  $L_0$ . No entanto, a compactação e a densidade do resíduo têm um efeito direto na massa de lixo num dado volume e, portanto, no potencial de quantidade de gás de aterro que pode ser produzido durante algum tempo, bem como nas características de desempenho dos sistemas que serão necessários para coletar o gás de aterro.

## Modelo adotado pelo IPCC

O Método de Decaimento de Primeira Ordem I (USEPA 2, 1997; IPCC, 1996) considera a geração de metano por uma quantidade de resíduo depositada no ano  $x$  durante os anos posteriores. Como a cada ano novas quantidades de resíduos são depositadas, a quantidade de metano gerada em um determinado ano será igual à geração do resíduo depositado no ano  $T$ , somada às gerações dos resíduos depositados nos anos anteriores, referenciadas no ano  $T$  (CETESB/SMA, 2003).

$$Q_{CH_4} = F.R.L_0 \cdot e^{-k(T-x)}$$

Sendo:

- $Q$  = metano gerado no ano  $T$  ( $m^3$ /ano);
- $F$  = fração de metano no biogás (%);
- $R_x$  = quantidade de resíduo depositado no ano  $x$  (kg);
- $k$  = constante de decaimento ( $ano^{-1}$ );
- $L_0$  = potencial de geração de biogás ( $m^3$  de biogás/kg de resíduo);
- $T$  = ano atual;
- $x$  = ano de deposição do resíduo.

O resíduo disposto anualmente ( $R$ ) é variável e depende de fatores como a taxa de crescimento populacional, taxa de RSD produzido por habitante ao ano e da porcentagem de resíduos que é coletada e disposta no aterro. A multiplicação de todos esses fatores origina o valor de  $R$ .

São necessários dados estatísticos sobre a população e sobre os resíduos sólidos urbanos. Caso não haja dados disponíveis para o cálculo no país, poderão ser usados dados padronizados fornecidos pelo IPCC (International Panel on Climate Change), mas a qualidade dos resultados pode ser prejudicada.

A estimativa de soma das vazões ( $SQT$ ) de metano é dada pela equação abaixo, que representa a soma das vazões de metano correspondentes às quantidades de resíduo depositadas no aterro ano a ano.

$$\sum Q_T = F.k.L_0 \cdot \sum R_x \cdot e^{-k.(T-x)}$$

Sendo:

- $\sum Q_T$  = estimativa da soma das vazões de metano no ano considerado [ $m^3CH_4$ /ano].

Portanto, essa estimativa é feita ano a ano, obtendo-se assim a emissão de metano do aterro durante toda a sua vida útil e pelos anos seguintes, após o seu fechamento.

Na Figura D.47, é apresentado uma estimativa de geração de biogás em aterro utilizando o modelo do IPCC.

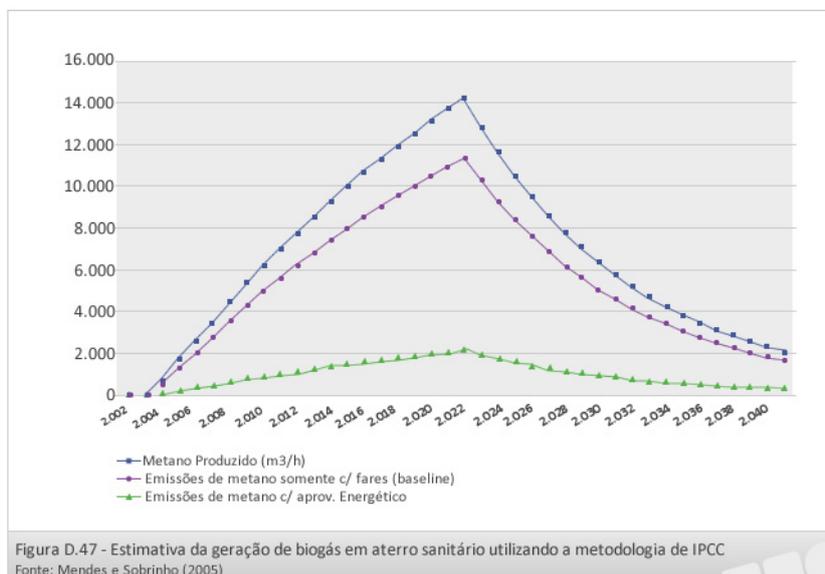


Figura D.47 - Estimativa da geração de biogás em aterro sanitário utilizando a metodologia de IPCC  
Fonte: Mendes e Sobrinho (2005)

## Saiba Mais

Consulte na biblioteca virtual o Manual para Aproveitamento do biogás e o artigo Estimativa de Emissão de gases de Aterros

## Resumo

No quadro abaixo são apresentados os principais equipamento utilizados na captação de biogás em aterro para aproveitamento energético

Equipamento	Função
<b>Captação do Biogás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composto por um conjunto de poços e uma rede de tubulação de PEAD (polietileno de alta densidade).</li> <li>• Deve ser planejado para que permita o monitoramento do fluxo de gás.</li> <li>• As tubulações provenientes dos drenos são interligadas aos pontos de regularização de fluxo ou manifolds.</li> <li>• Uma linha principal conduz o biogás para o sistema de queima (flare) e/ ou para o grupo de geradores.</li> </ul>
<b>Sistema de Compressão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A sucção do gás dos poços de coleta é realizada por um compressor.</li> <li>• Os compressores também podem ser necessários para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética.</li> <li>• O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerão da taxa do fluxo de gás e do nível de compressão.</li> </ul>
<b>Sistema de Tratamento de Condensado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O controle do condensado tem início no sistema de coleta onde são utilizados conectores e tubos inclinados para permitir a drenagem em tanques e após a coleta o condensado é removido.</li> <li>• Os métodos para disposição do condensado são: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, e recirculação para o aterro sanitário.</li> </ul>
<b>Sistema de Tratamento do Biogás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema utilizado para remoção de algum condensado que não foi coletado, assim como particulados e impurezas em geral.</li> <li>• São utilizados filtros para a remoção de impurezas, visto que estas podem danificar os componentes do motor ou da turbina, reduzindo a eficiência do sistema.</li> <li>• O gás tratado é conduzido para sistemas de geração de vapor (caldeiras, fornos) ou sistemas geradores de energia elétrica (motores estacionários), podendo ser igualmente aproveitado o calor rejeitado para aquecimento de água.</li> </ul>
<b>Sistema de conversor de energia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são: turbinas a gás; motores de combustão interna; células de combustíveis (em fase de desenvolvimento).</li> </ul>

Tabela D4 - resumo

Fonte: do autor

## Atividade - Estimativa da emissão de gases de aterro

Cada aluno deverá estimar a geração de gás de aterro, utilizando três métodos (Banco mundial, USEPA e IPCC) para o município escolhido no trabalho anterior, considerando uma vida útil do aterro de 20 anos e geração de gás por mais 20 anos.

O projeto deverá conter as seguintes informações:

1. Caracterização do município;
2. Memorial de cálculo;
3. Gráficos relacionando à vazão de CH<sub>4</sub> com o Tempo para cada método;
4. Análise comparativa entre os métodos utilizados.

### Parâmetros do projeto:

- Número de habitantes;
- Taxa de crescimento populacional;
- Abrangência do serviço de coleta;
- Geração per capita de resíduos;
- Se o município possuir usina de compostagem, reduzir em 15% o volume de resíduos destinados ao aterro sanitário;
- Se o município possuir unidades de triagem, reduzir em 20% o volume de resíduos destinados ao aterro sanitário;
- Peso específico dos resíduos compactado – 0,7 t/m<sup>3</sup>;
- Constante de decaimento (k) – 0,06 ano<sup>-1</sup>;
- Potencial de geração de biogás (Lo) – 0,25 (m<sup>3</sup>de biogás/kg RSD);
- Massa específica de CH<sub>4</sub> – 0,761 kg/m<sup>3</sup>;
- Fração de Metano no biogás – 50%.

5. O trabalho deverá ser entregue impresso, em arquivo de texto .doc, contendo os itens de 1 a 4.





TICS



## **Operação e manutenção de aterros**

**Unidade E**  
**Disposição Final de Resíduos**



UNIDADE **E**

# 1. IMPORTÂNCIA

## Prezado(a) aluno(a),

nessa semana discutiremos as operações necessárias para o adequado funcionamento de um aterro sanitário.

### As operações em um aterro podem ser listadas da seguinte forma:

- Recepção dos veículos
- Disposição dos resíduos;
- Compactação;
- Escavação de material de cobertura;
- Colocação do material de cobertura;
- Construção dos acessos internos temporários;
- Terraplanagem.

Faça essa atividade antes de ler o material disponível.

1. As imagens abaixo apresentam operações diárias em aterros sanitários. De acordo com seu conhecimento nomeie a operação correspondente à imagem.



a) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



b) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



c) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



d) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



e) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



f) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Excelente! Agora estude o material da Unidade E, verifique suas respostas e refaça novamente a atividade!  
Posteriormente divulgue seus resultados no fórum.

A operação do aterro é uma etapa fundamental para o sucesso do empreendimento, ou seja, para que a disposição dos resíduos seja feita minimizando os impactos ambientais e sanitários.

A disposição segura e bem organizada dos resíduos distingue um aterro sanitário de uma disposição a céu aberto (lixão). Mesmo um aterro que tenha sido bem projetado e bem implantado terá sérios problemas ambientais se for mal operado.

Os procedimentos de operação do aterro sanitário, embora simples, devem ser sistematizados para que sua eficiência seja maximizada, assegurando seu funcionamento como destinação final sanitária e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos gerados no município, ao longo de toda a sua vida útil.

Tais procedimentos devem seguir o Plano Operacional do Aterro Sanitário, documento de orientação que contém informações sobre a organização e condução do aterro.

### Atenção

O plano operacional consiste na apresentação dos procedimentos que deverão ser adotados durante a operação do aterro sanitário. No plano de operação devem ser destacadas as medidas mitigadoras previstas no Estudo de Impacto Ambiental – EIA quando for o caso, a ser obrigatoriamente elaborado e os procedimentos de manutenção das estruturas do aterro.

De modo resumido, o plano deve prover uma detalhada explicação do seguinte:

- Onde os resíduos serão dispostos em cada fase da vida útil do aterro;
- Quais as atividades de preparação do sítio e de engenharia serão necessárias durante a vida útil do aterro;
- Como lidar com os problemas ambientais (p.ex.; pássaros, vento e materiais leves, incêndios, gás, lixiviado);
- Quais os equipamentos, materiais e pessoal serão necessários para operação;
- Qual a documentação e administração serão necessárias;
- Quando e como cada parte do aterro será completada e encerrada.

Todos os procedimentos devem ser registrados em relatórios diários, relatórios mensais de consolidação de dados, formulários e planilhas apropriadas, além de plantas de reconstituição das obras efetivamente executadas. Esses elementos devem ser adequadamente numerados, catalogados e arquivados, de modo a propiciar a avaliação periódica do empreendimento, assim como o desenvolvimento de estudos e pesquisas referentes ao desempenho das instalações que o compõem.

## 2. INSTALAÇÕES DE APOIO

As instalações de apoio são estruturas que servem de auxílio às rotinas operacionais. No Quadro E1 são apresentadas algumas dessas estruturas e suas finalidades.

### Dica

Alunos(as) esse assunto foi abordado também na subunidade C - Unidade de apoio. Consulte o material

INSTALAÇÕES	FINALIDADES
Guarita/portaria	Local onde são realizados os trabalhos de recepção, inspeção e controle dos caminhões e veículos que chegam à área do aterro.
Isolamento	Fechamento com cerca e portão, que circunda completamente a área em operação, construída de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas e animais.
Sinalização	Placas indicativas das unidades e advertência nos locais de risco.
Cinturão verde	Cerca viva com espécies arbóreas no perímetro da instalação
Acessos	Vias externas e internas, construídas e mantidas de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.
Instalações de apoio operacional	Prédio administrativo contendo, no mínimo, escritório, refeitório, copa, instalações sanitárias e vestiários
Área de disposição de resíduos	Local destinado ao aterramento dos resíduos, previamente preparado com sistemas de impermeabilização de base e das laterais e de drenagens de chorume, de águas pluviais e de gases.

Quadro E.1: Principais estruturas auxiliares necessárias em aterros sanitários.

## 3. CONTROLE DAS OPERAÇÕES

Os aterros sanitários são obras de engenharia extremamente dinâmicas, e se caracterizam por ocorrerem variações diárias na condução das atividades. Um plano de operações deve ser elaborado para nortear a operação do dia-a-dia do aterro sanitário. Abaixo são descritas as operações necessárias em um aterro sanitário.

### Principais rotinas Operacionais:

- Controle de recebimento de resíduos.
- Operação da frente de trabalho.
- Formação da célula de resíduos.
- Cobertura e encerramento da célula.
- Construção/Manutenção da rede de drenagem de águas pluviais.
- Recuperação de área concluída do aterro.

### Parada Obrigatória

Para entender melhor a dinâmica dessas operações em aterro sanitário acesse o link OPERAÇÕES EM ATERRO e assista à apresentação dessas operações no dia-dia de um aterro sanitário. Disponível em: <<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/1771.pdf>>

## Recepção dos resíduos

A recepção dos resíduos deve ser realizada na portaria/guarita do aterro sanitário e consiste na operação de inspeção preliminar, durante a qual os veículos coletores, são vistoriados por fiscal/balanceiro (Figura E.1).



Esse profissional deve verificar e registrar a origem, a natureza e a classe dos resíduos que chegam ao empreendimento; orientar os motoristas quanto à unidade na qual os resíduos devem ser descarregados; impedir que resíduos incompatíveis com as características do empreendimento ou provenientes de fontes não autorizadas sejam lançados no mesmo e promover a pesagem dos veículos cuja entrada no empreendimento tenha sido por ele autorizada.

Na balança rodoviária será realizada a pesagem dos veículos coletores para se ter controle dos volumes diários e mensais dispostos no local (Figura E.1).

No caso dos aterros sanitários que não possuam balança rodoviária, deve ser identificada alternativa para a pesagem dos caminhões em outro local, de forma a possibilitar o controle dos quantitativos dos resíduos recebidos no aterro.

Os dados devem ser preenchidos corretamente no “formulário para pesagem diária de veículos” (Figura E.2)

É através deste formulário que o município terá informações sobre a eficiência de execução do sistema de limpeza urbana, permitindo uma melhor avaliação das rotas, cumprimento de horário, etc.

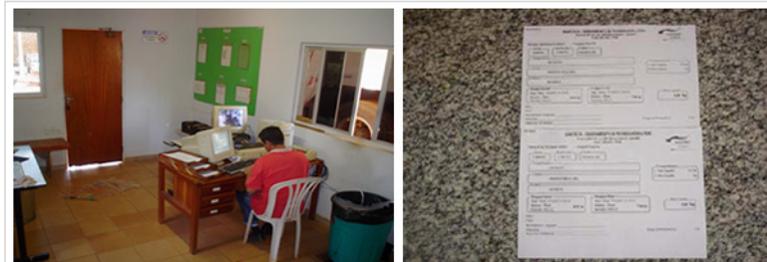


Figura E.2 - Emissão do formulário de controle de resíduos recepcionados no aterro  
Fonte: SANDES, L. R. G., 2005. Disponível em <http://www.conder.ba.gov.br>

O controle de acesso garante que os resíduos somente serão aceitos no aterro durante o horário de operação do aterro. Isso garante que não descarregados resíduos não permitidos. Durante o horário de operação deverá um porteiro e fora desses horários, um ou dois guardas.

Um segundo aspecto do controle de acesso é garantir que os veículos façam a descarga dos resíduos no local correto (na frente se serviço), evitam a descarga desordenada. Em grandes aterros, com alto fluxo de veículos, normalmente são utilizados um ou dois encostadores de caminhão próximo à área de descarga e compactação (frente de serviço), evitando a descarga caótica e interferências com os equipamentos que fazem a compactação dos resíduos depositados (Figura E.3).



Figura E.3 - Chegada dos veículos no aterro e condução à frente de trabalho para a descarga de resíduos  
Fonte: do autor. Aterro de Minas do Leão, RS (2007)

## Disposição dos resíduos

A área de disposição dos resíduos deve ser previamente delimitada por uma equipe técnica de topografia. No início de cada dia de trabalho, deverão ser demarcados com estacas facilmente visualizadas pelo tratorista os limites laterais, a altura projetada e o avanço previsto da frente de operação ao longo do dia. (Figura E.4)



A demarcação da frente de operação diária permite uma melhor manipulação do lixo, tornando o processo mais prático e eficiente. A operação de descarga de resíduos junta à frente trabalho é apresentada na Figura E.5.

Nos períodos de chuvas intensas ou quando, por qualquer motivo, a frente de operação estiver impedida de ser operada ou acessada, recomenda-se manter uma área para descarga emergencial, previamente preparada, de acordo com o projeto do aterro sanitário.

Em locais onde existe a possibilidade de carreamento de materiais pelo vento, recomenda-se a utilização de telas de proteção na frente de operação.



Os métodos de disposição dos resíduos variam; e são função também do tipo de aterro e de sua geometria. A maneira mais usual de disposição e compactação dos resíduos em aterros é descrita a seguir:

O veículo coletor descarrega o mais próximo possível da frente de serviço. Neste momento, o funcionário

do aterro (o encostador de caminhão) tem o papel importante de orientar o motorista e não deixá-lo efetuar a descarga em qualquer lugar. Na sequência, um trator-de-esteiras faz o espalhamento e a compactação dos resíduos em rampa (Figuras E.6 e Figura E.7).



Figura E.6 - Operação de descarga de resíduos no aterro sanitário  
Fonte: do autor. São Lourenço do Sul, RS (2008)



Figura E.7 - Operação de espalhamento e compactação dos resíduos no aterro sanitário  
Fonte: do autor. São Lourenço do Sul, RS (2008)

O caminhão deve depositar o resíduo em “pilhas” imediatamente a jusante da frente de operação demarcada, conforme definido pelo fiscal. O desmonte dessas pilhas de resíduos deverá ser feito com o auxílio da lâmina do trator de esteira, que, em seguida, procederá a seu espalhamento e compactação.

Existem outras formas de descarregamento dos resíduos no aterro, que dependem principalmente do fluxo de veículo no aterro e da capacidade de operação do aterro.

### Saiba Mais

Para compreender melhor essa afirmação assista aos vídeos de operações de aterros de grande porte acessando os links abaixo

[http://www.youtube.com/watch?v=K3\\_17mnEft4&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=K3_17mnEft4&feature=related)

<http://www.youtube.com/watch?v=nCod3Mk7w0I>

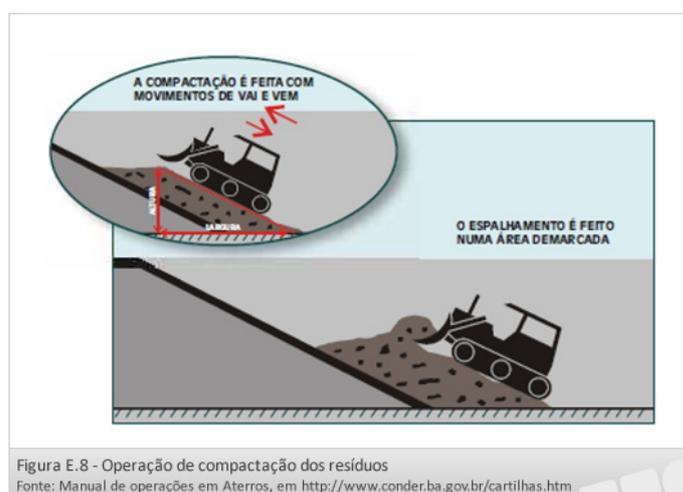
## Espalhamento e compactação dos resíduos

A disposição cuidadosa dos resíduos no aterro deve seguir o plano de operações (discutido anteriormente), e é um aspecto essencial para uma operação adequada do aterro sanitário. Nesse aspecto, a compactação e a cobertura das células são fundamentais.

A compactação deve garantir que todo o resíduo seja compactado para atingir a melhor densidade possível no enchimento do aterro. Esta compactação reduz os vazios no interior do aterro, diminuindo a entrada de água e a consequente geração de lixiviados; reduz os adensamentos; e confere maior estabilidade ao aterro diminuindo o risco de colapso.

Alcançar boa compactação dos resíduos no aterro corresponde a reduzir a probabilidade de ocorrerem problemas futuros.

A técnica correta estabelece que o lixo seja descarregado no solo, no sopé do início da vala ou da célula anterior, e empurrando por trator de esteira ou similar, formando rampas, com inclinação, correspondendo a 1(V):2(H) ou 1(V):3(H). (Figura E.8)



Dessa forma, o peso do trator, concentrando-se na traseira do sistema de esteiras, quebra e amassa caixas, latas, garrafas, etc., reduzindo o volume do lixo de maneira mais eficiente. Para obtenção de bons resultados, recomenda-se que a compactação se desenvolva no sentido ascendente e que seja repetida três a cinco vezes sobre cada camada de lixo.

A rampa deve ter declividade da ordem de 1:3 ou 1:2 (V:H), otimizando a distribuição do peso na roda motriz (roda de tração) do trator e conferindo uma maior compactação aos resíduos. Rampas muito íngremes, além de levarem o trator-de-esteiras a patinar, também causam problemas de lubrificação do motor do trator.

Em aterro de operação manual (para pequenas comunidades) equipamentos mais simplificados, como rolos compactadores de tração humana, podem ser usados. Na figura E.9 apresenta-se um exemplo desse tipo de equipamento de compactação em aterro simplificados.



Figura E.9 - Operação de compactação de resíduos manual em aterros simplificados  
 Fonte: CASTILHOS JUNIOR (1999), em <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabArmando.pdf>

O espalhamento deve ser feito em camadas finas, que tenha entre 30 e 50 cm de espessura. Após o espalhamento dessas finas camadas, a compactação é feita pela passagem sucessiva do trator-de-esteiras que o trator está com a lâmina frontal erguida, e está somente compactando, sem estar fazendo o espalhamento dos resíduos). Geralmente são feitas de 3 a 5 passadas de trator-de-esteiras no mesmo local, sendo que a máquina deve ter peso operacional maior ou igual 14000kg (tipo D9T da Carterpillar ou similar) como apresentado na Figura E.10.

O número necessário de passadas também depende da umidade dos resíduos de quantidade de material denso presente nos resíduos.

A compactação desejada em aterro que utilizam máquinas pesadas para a compactação (como os tratores-de-esteiras) é da ordem de 700 a 1000 kg/ m<sup>3</sup>, densidade de compactação obtida com 3 a 5 passadas de trator com peso operacional de 14000 kg).



Figura E.10 - Operação de espalhamento de resíduos com trator de esteira modelo D9T  
 Fonte: <http://br.viarural.com/construcao/escavadeiras-pas/caterpillar/tratores-de-esteiras-d9t-wh.htm>

## Parada Obrigatória

Para entender as operações de espalhamento e de compactação em aterros assista ao vídeo acessando o link [http://www.youtube.com/watch?v=tg67Dw\\_8sBo&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=tg67Dw_8sBo&feature=related)

## Formação da Célula

Após o espalhamento e a compactação, toma forma a célula de resíduos. (Assunto discutido na 7ª semana item C5.4).

Dá-se a denominação de célula a um leito que inclui o material de aterro (resíduos) e de cobertura, e várias células se superpõem sucessivamente, formando uma camada ou patamar até atingir a altura final determinada no projeto executivo.

A altura de cada célula ou camada do aterro varia de 2 a 5 m. Em aterros de grande porte, acima de 200 t/d, as larguras adotadas variam de entre 3 e 5 m, e em aterro menores, essas alturas também são menores.

Assim também ocorre com largura da frente de serviço. Esta deve ser suficiente larga para permitir a descarga dos veículos coletores; mas não deve ser muito larga a ponto de dificultar a compactação e utilizar excesso de material de cobertura.

Para a definição da largura da frente de serviço, utiliza-se o critério de que a forma de célula, que implica a utilização de menor volume para cobertura diária, é a célula quadrada.

### Dica

Aluno(a) consulte o material da subunidade C- Projeto e Implantação e relembre o cálculo das dimensões da célula.

## Cobertura dos resíduos

A cobertura dos resíduos divide-se em: diária e final

A cobertura diária consiste de uma camada de material inerte (terra, entulho etc.) com espessura de 15 a 20cm, tem o objetivo de impedir o arraste de materiais pela ação do vento e evitar a disseminação de odores desagradáveis e a proliferação de vetores, como moscas, ratos, baratas e aves.

Em locais com escassez de material de cobertura, inevitavelmente uma camada mais fina de cobertura será utilizada, com uma periodicidade maior.

Alternativamente, a frente de serviço (rampa) pode ser coberta, a cada fim de jornada de trabalho, por mantas geossintéticas leves que são removidas na manhã seguinte, na retomada da disposição dos resíduos.

Em aterro de grande porte, que operam nas 24 horas do dia, parando somente nos domingos, a rampa, como está sempre em serviço, não recebe cobertura; sendo a cobertura intermediária feita somente na parte superior da célula.

Com o objetivo de evitar a formações de bolsões de lixiviados entre camadas do aterro, principalmente junto aos taludes, o que pode gerar instabilidade do maciço e possibilidade de aparecimento de vazamentos de lixiviado nos pés do talude (o chamado “choro de pé de talude”), procede-se a remoção de solos de baixa permeabilidade usada na cobertura intermediária antes da colocação de nova camada de resíduos. Isso permitirá uma melhor movimentação dos lixiviados para a camada de resíduos mais abaixo.

Uma vez esgotada a capacidade da plataforma do aterro, procede-se à sua cobertura final com uma camada de argila compactada com cerca de 60 cm de espessura (ou de acordo com a espessura definida no projeto técnico) sobre as superfícies que ficarão expostas permanentemente - bermas, taludes e platôs definitivos.

Após o recobrimento, deve-se proceder ao plantio de gramíneas nos taludes definitivos e platôs, de forma a protegê-los contra a erosão e visando ao uso futuro do local (assunto que será discutido na próxima semana).

## Controle e manutenção geral do aterro

Além das operações citadas, um aterro deve estar preparado para funcionar em qualquer condição. Nesse caso, são previstas operações como:

- controle de espalhamento pelo vento materiais leves (papel e plásticos) e de poeira;
- manutenção dos equipamentos, construções civis, cercas e itens similares;
- operação em épocas chuvosas;
- manejo das águas pluviais;
- controle dos lixiviados;
- controle dos gases e odores;
- controle de vetores.

---

### Parada Obrigatória

Para saber mais sobre as operações de rotina em um aterro sanitário consulte o Manual de operações em aterro. Acesse o manual: <<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/1774.pdf>>

---

O Quadro E.2, apresenta uma síntese das atividades a serem realizadas para o controle e acompanhamento do aterro sanitário.

<b>Componente, estrutura ou equipamento do aterro sanitário</b>	<b>Frequência de inspeção</b>
Higienização das edificações	Diária
Limpeza da unidade, com remoção dos materiais espalhados pelo vento	Diária
Capina da área, para manutenção do paisagismo	Mensal
Manutenção dos portões e cerca de isolamento	Mensal
Manutenção do cinturão verde	Mensal
Limpeza e manutenção dos dispositivos de drenagem pluvial	Semanal
Limpeza e manutenção das estruturas de drenagem de chorume	Semanal
Manutenção dos dispositivos de queima dos gases	Diária
Verificação do sistema de cobertura das plataformas	Semanal
Limpeza e manutenção das vias de acesso	Semanal
Inspeção e manutenção dos instrumentos de monitoramento	Mensal
Limpeza e manutenção dos veículos e equipamentos	Diária
Sistema de fiscalização, controle e inspeção dos resíduos	Diária
Limpeza e manutenção do sistema de tratamento de chorume	Semanal
Controle da saúde dos funcionários	Semestral

Quadro E.2: Atividades para acompanhamento do aterro sanitário na fase de operação

## 4. EQUIPAMENTOS E MÃO-DE-OBRA

Para decidir os tipos de equipamento deverão ser utilizados em um aterro, deve-se inicialmente determinar qual a forma de operação do aterro: mecanizada ou manual. Essa escolha depende de fatores como: o custo de mão-de-obra e do equipamento, porte do aterro, operação do aterro e outros. Na Tabela E1 são apresentadas peculiaridades da operação manual e mecanizada em aterros.

Manual	Mecanizado
Efeito para pequenos aterros recebendo até 40 t/d.	Sem limitação quanto ao tamanho da tonelage diária do aterro. Serve para grandes e pequenos aterros.
Resíduos de países ou regiões ricas têm densidades mais baixas (entre 0,1 e 0,3 t/m <sup>3</sup> ). Resíduos de outras regiões têm densidades na ordem de 0,4 a 0,5 t/m <sup>3</sup> . A disposição de manual de resíduos leves, de baixa densidade é difícil e ocupa um volume inicial maior (p.ex., 0,3 t/m <sup>3</sup> ). A disposição manual de resíduos em regiões de baixa renda é mais factível, com densidade no aterro de cerca de 0,5 t/m <sup>3</sup> .	O peso dos equipamentos mecanizados pode conferir densidades iniciais ao aterro mais alta (entre 0,6 e 1,0 t/m <sup>3</sup> ) requerendo um menor volume de aterro. A melhora da densidade conseguida em relação à disposição manual é menor para os resíduos mais densos das regiões de maior renda. Portanto, a vantagem conseguida com a melhor compactação por uso de equipamentos mecanizados é menos importante.
A disposição e compactação manual de resíduos tem custos relativamente mais baixos. Esta vantagem desaparece quando os custos se elevam e se aproximam dos custos da operação mecanizada. A operação manual do aterro aumenta o risco potencial de doenças ocupacionais pelo contato com agentes perigosos presentes nos resíduos.	Equipamentos mecanizados requerem altos custos de combustíveis, peças e serviços de manutenção, e necessita de competência técnica para manter a operação. Requer maior treinamento para os operadores dos equipamentos.
Trabalho manual adicional é requerido para escavar o solo e espalhar o material de cobertura.	Alguns equipamentos mecanizados fazem este trabalho em adição à disposição dos resíduos.

Tabela E.1 - Comparação entre aterramento manual e mecanizado de resíduos sólidos

Fonte: Rushbrook e Pugh (1999)

Em um aterro mecanizado são necessários, no mínimo, os seguintes equipamentos:

- Trator de esteira, com peso operacional de 15 toneladas, para espalhamento e compactação dos resíduos e das camadas de capeamento dos mesmos.
- Retro/pá carregadeira para construção dos sistemas de drenagem.
- Motoniveladora e rolo compactador vibratório, para compactação da base impermeabilizante e da camada de capeamento final do aterro, bem como para conservação das vias internas.
- Caminhão basculante para o transporte de terra.
- Caminhão-pipa para umedecimento periódico das vias de acesso em épocas de estiagem.

### Trator Esteira com Lâmina - equipamento utilizado nas seguintes atividades:

Espalhamento, compactação e cobertura do resíduo com solo.

Alguns modelos de tratores de esteira são apresentados na Figura E.11 e E.12



Figura E.11 - Trator de Esteiras D6H de 14000 Kg em operação no aterro  
Fonte: do autor. Caxias do Sul, RS (2009)



Figura E.12 - Trator compactador de aterro 836H peso de 55000kg  
Fonte: Disponível em <http://brasil.cat.com/cda/layout?m=259233&x=12>

## Dica

Assista à operação desse gigante dos aterros acessando o link

<http://www.youtube.com/watch?v=Gqqz5G43iVE&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=MN6fuVQn5u4&NR=1>

- Pá Carregadeira Sobre Pneus - equipamento utilizado nas operações de carregamento de solo nos caminhões basculantes.
- -Caminhão Basculante – equipamento utilizado para o transporte do material de cobertura. Geralmente utiliza-se um caminhão basculante de 5 m3 de capacidade.
- -Retroscavadeira – equipamento utilizado para as funções de abertura de valas e drenos

## Saiba Mais

Para conhecer melhor os equipamentos citados, acesse o material disponível Equipamentos para operações do Aterro. Disponível em: <https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/1771.pdf>





**TICS**

## **Monitoramento e encerramento de aterros sanitários**

**Unidade F  
Disposição Final de Resíduos**



# 1. MONITORAMENTO AMBIENTAL

## Introdução

Olá pessoal, nessa última semana vamos estudar o monitoramento ambiental e o encerramento de aterros sanitário, mas antes de iniciarmos o conteúdo dessa unidade leia atentamente o artigo “**Monitoramento ambiental do aterro de resíduos sólidos da Muribeca - PE**”

### Bom estudo para todos!

Qualquer empreendimento que se destina ao acondicionamento de resíduos dentro dos padrões ambientais, deve seguir o plano de monitoramento. Pode-se citar como objetivos de um plano de monitoramento a:

- avaliação da eficiência da obra de engenharia no sentido da proteção dos recursos naturais do entorno do sítio, detectar e determinar o grau dos impactos ambientais, caso existam e, nesse caso, exercer as medidas corretivas que se façam necessárias (Monitoramento Ambiental);
- verificação da eficiência do processo de biodegradação dos resíduos sólidos em função do tempo, prever e detectar possíveis efeitos adversos à sua manutenção, tomar as medidas preventivas e corretivas para o bom andamento do mesmo e buscar a otimização dos fatores intervenientes (Monitoramento Operacional);
- avaliação continuamente a eficiência das unidades constituintes da Estação de Tratamento de Lixiviados (Monitoramento Operacional);
- verificação do potencial de aproveitamento energético do biogás gerado no aterro (Monitoramento Operacional).

O monitoramento ambiental em aterros sanitários deve ocorrer na fase de projeto, na implantação, na execução, na operação e no encerramento.

Em todos os casos, os parâmetros a serem monitorados serão propostos pelo projetista e avaliados e confirmados pelo órgão de controle ambiental no momento na análise e emissão da Licença de Instalação (LI) e da Licença de Operação (LO) do aterro.

### Dica

Esse assunto foi discutido na Unidade C. Reveja suas anotações.

O órgão ambiental poderá aceitar a proposição do projetista ou exigir inclusões de novos parâmetros a serem analisados ou periodicidades diversas das propostas.

### Parada Obrigatória

Clique aqui e acesse a licença de operação (LO) do aterro sanitário da empresa SIL- Soluções Ambientais e veja as exigências ambientais impostas ao empreendimento em relação ao monitoramento ambiental.

<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/moodle/mod/url/view.php?id=457>

Em um aterro sanitário geralmente são monitorados os seguintes elementos:

- Águas superficiais, subterrâneas e percoladas;
- Emissões atmosféricas;
- Recalques e estabilidade do aterro.

## Monitoramento das águas

O monitoramento dos líquidos pode ser dividido em: águas superficiais, águas subterrâneas e águas percoladas.

### Águas superficiais

O monitoramento de águas superficiais justifica-se quando há na área de influência direta do aterro afloramentos de águas do subsolo (nascentes, olhos d'água, vertentes, minas) ou mananciais hídricos superficiais (rios, córregos, represas, lagos). Caso os efluentes do tratamento de lixiviados sejam lançados em coleções hídricas, a qualidade dessas deverá ser monitorada.

Havendo obrigatoriedade do monitoramento de águas superficiais, todas as coleções hídricas significativas que contribuam para o sistema hídrico local deverão ter sua qualidade monitorada. Neste caso, os pontos de amostragem serão definidos conforme a localização dessas coleções na área de interesse.

Para os aterros que lançam os efluentes do tratamento de lixiviados em coleções hídricas, recomenda-se a definição de dois pontos de amostragem: o primeiro localizado a 100 metros a montante do ponto de lançamento e o segundo, a 50 metros a jusante do ponto de lançamento.

A amostragem de águas superficiais deve também se basear nas orientações contidas na NBR 9898/87 (Preservação e técnica de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores) e também nas recomendações do órgão de controle ambiental (OCA) quanto aos parâmetros analisados e à periodicidade.

No Quadro F1 são apresentados alguns parâmetros monitorados de amostras coletadas de águas superficiais em aterros sanitários

## Parâmetros monitorados de amostras coletadas de águas superficiais em aterros sanitários

Análises a efetuar, por ponto de amostragem
pH (potencial hidrogeniônico)
Temperatura
Alcalinidade
Oxigênio dissolvido
Sólidos totais
DQO
DBO
Dureza total
Condutividade
Nitrogênio total
Fósforo total
Coliformes fecais
Estreptococos fecais
Metais (Al, Ag, As, Ba, Cd, Cr, Fe, Cu e outros elementos)

Quadro F1 - Parâmetros monitorados de amostras coletadas de águas superficiais em aterros sanitários

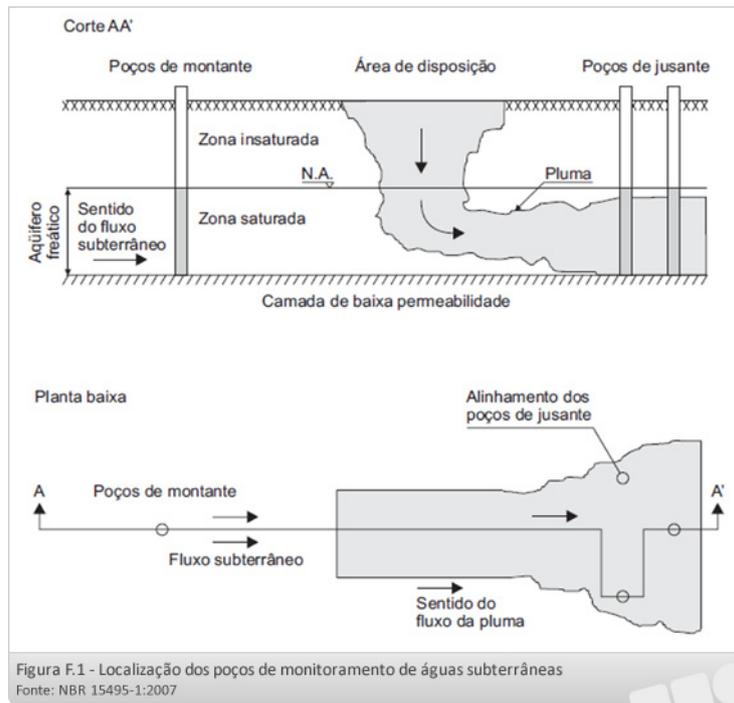
Os elementos descritos no Quadro F1 também poderão ser indicados para o monitoramento das águas subterrâneas, dependendo do critério estabelecido pelo OCA.

### Águas Subterrâneas

O monitoramento das águas subterrâneas na área do aterro tem como objetivo principal avaliar a eficiência dos sistemas de impermeabilização e drenagem de lixiviados e detectar alterações na qualidade da água subterrânea, preservando os mananciais de águas subterrâneas.

Desse modo, o monitoramento da qualidade das águas do subsolo visa conhecer a qualidade das águas antes do início da disposição de resíduos no aterro. Para tanto, deverão ser locados e instalados na área do aterro e adjacências poços de monitoramento, segundo especificações da NBR 15495-1:2007 (Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares)

Quanto à localização dos poços de monitoramento, a NBR 15495/07 define que os poços de monitoramento devem ser em número suficiente e instalado adequadamente de forma que as amostras retiradas representem a qualidade da água existente no aquífero mais alto, na área do aterro. O sistema de poços de monitoramento deve ser constituído de, no mínimo, quatro poços, sendo um a montante e três a jusante no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático, e os poços devem ter diâmetro mínimo suficiente para a coleta de amostras, ser revestidos e tampados na parte superior para evitar a contaminação das amostras, como apresentado na Figura F.1.



Os poços deverão ser monitorados desde o início da operação do empreendimento e deverão ser monitorados por longo período após o encerramento das atividades do empreendimento.

Quanto à frequência, a NBR 13896/97 (Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação) recomenda que a análise de todos os parâmetros a serem monitorados seja realizada pelo menos quatro vezes ao ano, em cada poço, durante o período de vida ativa do sistema, isto é, durante o período em que o aterro ainda produz algum tipo de emissão.

No Brasil, de um modo geral, os OCA recomendam que sejam adotados os procedimentos descritos em edição atualizada do manual da Associação Americana de Saúde Pública, *Standard methods for examination of water and wastewater*. Alternativa ou complementarmente, o OCA poderá recomendar métodos próprios, os quais, em geral, são adaptações do referido manual.

As Figura F.2 e F.3 mostram a coleta de amostra de águas subterrâneas visando ao monitoramento da qualidade ambiental dos recursos hídricos.



Figura F.2 - Coleta de amostra de águas subterrâneas  
 Fonte: Lopes, A.A., 2007



Figura F.3 - Poço piezométrico para coleta de amostra  
 Fonte: Lopes, A.A., 2007

## Monitoramento de biogás

Esse monitoramento tem como objetivo monitorar a qualidade e quantidade de gases gerados no aterro sanitário, permitindo o acompanhamento das fases de degradação e grau de estabilização dos resíduos, bem como seu potencial energético e riscos de explosão.

O monitoramento do biogás fica condicionado à concepção do aterro sanitário e às exigências dos OCA.

As condições operacionais dos sistemas de captação, drenagem e eventualmente exaustão de biogás, bem como a evolução do processo de degradação de resíduos, podem ser monitoradas nos pontos de exaustão e queima de biogás.

Os tipos de monitoramento das emissões de gases em aterro podem ser:

- Drenos
- Superficiais
- Subsuperficiais
- Regiões circunvizinhas

A composição do biogás é expressa em termos de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>). O metano constitui o parâmetro de maior interesse do ponto de vista ambiental.

A cromatografia de fase gasosa é o método analítico de maior precisão para a determinação da composição de misturas gasosas. No entanto, equipamentos portáteis são opções a serem consideradas na elaboração do plano de monitoramento.

## Monitoramento geotécnico

Esse monitoramento tem como objetivo monitorar os deslocamentos verticais e horizontais do aterro sanitário, permitindo uma avaliação contínua da vida útil do aterro e fornecer elementos para a avaliação da estabilidade dos taludes do aterro, evitando acidentes, como desmoronamento.

O monitoramento do recalque em aterro é realizado por meio do registro topográfico das posições de medidores de recalque e marcos superficiais, instalados nas superfícies dos taludes, bermas e topo do aterro.

### Dica

O recalque de aterros foi abordado na Unidade C - Projeto e Implantação. Consulte suas anotações.

Um aterro sanitário, mesmo bem compactado, sofre adensamentos da ordem de 20 a 30%. Aterros mal ou pouco compactados podem atingir até 50 % de recalque em relação a sua altura inicial.

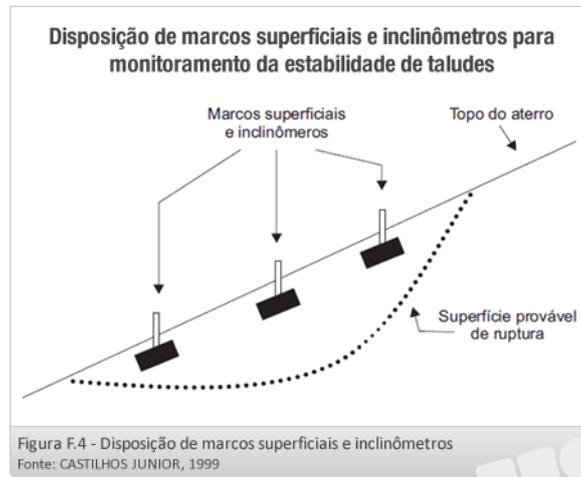
Esses recalques ou adensamentos são causados por dois fatores básicos: a diminuição dos vazios e assentamento residual dos materiais altamente deformáveis, devido ao peso próprio e das camadas superiores; e devido à fluência e à decomposição da matéria orgânica.

O monitoramento geotécnico será projetado em função do risco de contaminação envolvido. Grandes aterros sanitários exigirão maior controle dos condicionantes geotécnicos. Para municípios de pequeno porte, as implicações geotécnicas deverão ser analisadas nas etapas de caracterização da área, projeto e implementação da obra.

Esses recalques causam tantos movimentos verticais quanto horizontais do aterro, ou seja, como se

costuma dizer, “o aterro caminha”.

Com o objetivo de monitorar os recalques, os deslocamentos horizontais e o comportamento do maciço do aterro sanitário com um todo, deverá ser prevista a instalação de placas de recalques e marcos de superfície (Figura F.4).



A partir dessa referência, marcos situados na superfície final do aterro ou placas de recalques podem ser monitorados por nivelamento geométrico de superfície – controle topográfico (Figura E4). Tanto os movimentos horizontais quanto os verticais desses marcos podem ser monitorados anualmente ou a cada dois anos, de acordo com o avanço dos recalques.

### Saiba Mais

Para saber mais sobre o monitoramento geotécnico leia o artigo: Monitoramento em aterros sanitários durante a operação: desempenho mecânico e ambiental. Disponível em: <<https://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/dfr/biblioteca/1779.pdf>>

Além do monitoramento do aquífero, do recalque e das emissões atmosféricas, outros controles se fazem necessários:

- Controle de moscas – as populações de moscas tanto antes como depois das tarefas de controle, deve-se levar em conta a dinâmica dessa população que se modifica por reprodução, mortalidade e migração, variando com a natureza do meio e principalmente com a eficiência operativa do aterro.
- Controle de roedores – são recomendados dois tipos de práticas:
  - compactação e cobertura diária dos resíduos dispostos;
  - emprego de venenos e iscas.

No Quadro F2 são apresentados parâmetros de monitoramento em aterros sanitários e as respectivas frequências.

<b>MONITORAMENTO DAS CÉLULAS DO ATERRO</b>	
Sondagens SPT	Semestral
Ensaio dos materiais coletados nas sondagens SPT	Semestral
Coletas de chorume para realização de ensaios físico- químicos e bacteriológicos	Bimensal
Medidas de temperatura	Mensal
Medidas do nível de líquido	Mensal
Medidas de recalques	Semanal
Coletas e ensaios dos gases	Mensal
<b>MONITORAMENTO AMBIENTAL</b>	
Medidas de Vazão	Mensal
Coletas de líquidos para realização de ensaios físico-químicos e bacteriológicos no reservatório anaeróbico, no charco artificial e na caixa de monitoramento	Bimensal
Coletas de líquidos para realização de ensaios físico-químicos e bacteriológicos em curso d'água superficial	Bimensal
Qualidade do ar	Semestral
Controle de micro e macrovetores	Semestral

Quadro F2 – Parâmetros monitorados em aterros sanitários e sua frequência de análise

## 2. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ATERROS

A vida útil do aterro sanitário chega ao fim quando é alcançado o volume previsto de resíduos dispostos no local. Com isso, o aterro terá a sua operação diária encerrada, mas ainda necessitará de cuidados posteriores. Os cuidados de encerramento e pós-fechamento devem considerar que um aterro pode gerar efluentes potencialmente poluidores por um período superior a 20 anos.

Infelizmente, os aterros sanitários não podem ser construídos para comportar-se exatamente da maneira como foram concebidos ou projetados. Recalques não previstos, debilidades na qualidade de construção, e a natureza por ela mesma irão comprometer, invariavelmente, numa maior ou menor extensão, os sistemas de proteção ambiental concebidos e construídos no projeto. Portanto, será necessário instituir programas de inspeção e monitoramento e fazer qualquer manutenção ou reparo necessário no local.

Nos aterros projetados sem o uso de geomembrana na camada de cobertura final, o lixiviado continuará a ser gerado na mesma proporção que as águas da chuva precipitarem e infiltrarem pela superfície do aterro. Será, portanto, necessário manter e operar os sistemas de drenagem e de tratamento de lixiviados até que o efluente atinja naturalmente os padrões para emissão direta nos recursos hídricos superficiais ou subsuperficiais.

### Encerramento do aterro

Os seguintes procedimentos são tipicamente propostos para o encerramento de aterros:

- permitir suficiente para o adensamento de qualquer depósito recente de resíduos;
- colocar a camada de cobertura final de acordo com o estabelecido no projeto;
- implantar declividades da cobertura final entre 3 a 5 %;
- implantar um sistema permanente de drenagem pluvial sobre o aterro;
- verificar o controle de erosão e geração de sedimentos fazendo as modificações de acordo com qualquer alteração das declividades;
- aplicar a cobertura vegetal dos taludes, de acordo com espécies de fácil crescimento na região, de preferência, gramíneas;
- fazer uma tabela/cronograma com um plano de inspeção de modo a assegurar que os seguintes aspectos sejam inspecionados a intervalos regulares apropriados: recalques, integridade da camada de cobertura, e necessidade de refazer o greide:
- sistemas de controle de erosão e sedimentação;
- controle de gases e lixiviados;
- medidas de prevenção de vandalismo e entrada de pessoas não autorizadas;
- vegetação;
- cercamento;
- sistemas de monitoramento.

O monitoramento pós-encerramento do aterro tem por objetivo acompanhar o desempenho dos sistemas de proteção ambiental e garantir a segurança e a integridade do sistema. As atividades de monitoramento das águas do subsolo e superficiais, de biogás, de efluentes líquidos e de recalques deverão estender-se por toda a vida ativa do sistema ou, então, até que as emissões atinjam padrões aceitáveis definidos pelo OCA.

## Cuidados pós-fechamento

Os principais aspectos a serem acompanhados e monitorados no período de pós-fechamento do aterro sanitário são:

- controle de erosão (inclui a manutenção do sistema de drenagem superficial/pluvial);
- acompanhamento dos recalques e possíveis deformações;
- monitoramento das águas subsuperficiais;
- drenagem, tratamento e monitoramento dos gases e lixiviados;
- dados meteorológicos;
- observação das condições da vegetação e presença de vetores e odores.

## Usos futuros

Entre as principais restrições à ocupação de áreas de aterros sanitários desativados pode-se citar:

- a baixa capacidade de carga;
- os recalques significativos (especialmente os recalques diferenciais);
- a presença de gases combustíveis e potencialmente explosivos;
- a corrosividade ao concreto e ao aço dos produtos da decomposição dos resíduos, e a variada composição bioquímica do interior do aterro.

Os usos futuros dos aterros sanitários podem ser divididos em três categorias gerais: espaços abertos e de recreação; agricultura e desenvolvimento urbano.

### Espaços abertos e recreação

É considerada a forma mais adequada de uso futuro de sítios de aterros sanitários. Os tipos de usos podem ser para a prática de esportes locais (como campos de futebol), ao passo que parques e espaços mais abertos poderão ser de interesse de um número maior de pessoas, e uma área verde, com trabalho paisagístico de implantação de gramados, arbustos e árvores, pode trazer benefícios para a comunidade.

Adicionalmente, este tipo de uso não implica na construção de grandes estruturas no local, apenas pequenas e leves construções, como prédios administrativos e sanitários públicos.

A Figura F.5 traz um exemplo de parque urbano em área de aterro sanitário.



Figura F.5 - Uso da área de aterro sanitário para recreação  
Fonte: site da Geocaching

### Agricultura

Aterros concluídos podem ser utilizados para pastagens ou plantações (de grãos, frutíferas, lenhosas, viveiros de mudas, etc.). Em ambos os casos, a camada de cobertura deve ter espessura suficiente, de modo a garantir que as raízes não entrem em contato com resíduos dispostos.

No entanto, existem algumas desvantagens no uso de aterros desativados para a plantação de pastagens ou de outras espécies de vegetais, por exemplo.

- a camada de argila compactada da cobertura final do aterro torna-se uma barreira ao crescimento radicular das plantas;
- o contato do sistema radicular das plantas com o biogás e fuga do mesmo para atmosfera;
- o aumento da infiltração de água da chuva pela camada superior devido aos caminhos preferenciais causados pelo enraizamento.

### Dica

Para saber mais sobre a revegetação em áreas de aterro leia o artigo “Estudo de Caso para Recuperação Paisagística do Aterro Sanitário de Toledo – PR. Meinerz C. C et al., (2009). Disponível na biblioteca virtual

### Desenvolvimento urbano

O uso de aterros sanitários encerrados, como locais para construção e particularmente para o desenvolvimento urbano, de maneira geral, deveria ser desencorajado, devido às muitas e severas restrições.

Essas incluem provável movimento de gases, corrosão do concreto, baixa capacidade de carga e recalques diferenciados associados à construção e utilização das estruturas implantadas sobre o aterro.

Quando se construir habitações ou outras estruturas em um aterro encerrado, o único recurso será adotar medidas extremas de precaução para amenizar ou eliminar os efeitos nocivos.

### Dica

Recentemente um Shopping Center em São Paulo foi interditado judicialmente, pois não realizava o monitoramento do biogás gerado pela decomposição de resíduos dispostos inadequadamente no local de construção do empreendimento. Leia mais acessando:

<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,gilberto-kassab-diz-que-shopping-center-norte-deve-reabrir-em-breve,781568,0.htm>

## Resumo

O monitoramento ambiental em aterros sanitários deve ocorrer na fase de projeto, na implantação, na execução, na operação e no encerramento.

Em todos os casos, os parâmetros a serem monitorados serão propostos pelo projetista e avaliados e confirmados pelo órgão de controle ambiental no momento na análise e emissão da Licença de Instalação (LI) e da Licença de Operação (LO) do aterro.

Em um aterro sanitário geralmente são monitorados os seguintes elementos:

- Águas superficiais, subterrâneas e percoladas;
- Emissões atmosféricas;
- Recalques e estabilidade do aterro

O monitoramento dos líquidos pode ser dividido em: águas superficiais, águas subterrâneas e águas percoladas.

### Águas superficiais

O monitoramento de águas superficiais justifica-se quando há na área de influência direta do aterro afloramentos de águas do subsolo (nascentes, olhos d'água, vertentes, minas) ou mananciais hídricos superficiais (rios, córregos, represas, lagos). Caso os efluentes do tratamento de lixiviados sejam lançados em coleções hídricas, a qualidade dessas deverá ser monitorada.

### Águas Subterrâneas

O monitoramento das águas subterrâneas na área do aterro tem como objetivo principal avaliar a eficiência dos sistemas de impermeabilização e drenagem de lixiviados e detectar alterações na qualidade da água subterrânea, preservando os mananciais de águas subterrâneas.

### Monitoramento de biogás

Esse monitoramento tem como objetivo monitorar a qualidade e quantidade de gases gerados no aterro sanitário, permitindo o acompanhamento das fases de degradação e grau de estabilização dos resíduos, bem como seu potencial energético e riscos de explosão.

Os tipos de monitoramento das emissões de gases em aterro podem ser:

- - Drenos
- - Superficiais
- - Subsuperficiais
- - Regiões circunvizinhas

### Monitoramento geotécnico

Esse monitoramento tem como objetivo avaliar os deslocamentos verticais e horizontais do aterro sanitário, permitindo uma avaliação contínua da vida útil do aterro e fornecer elementos para a avaliação da estabilidade dos taludes do aterro, evitando acidentes, como desmoronamento.

O monitoramento do recalque em aterro é realizado por meio do registro topográfico das posições de medidores de recalque e marcos superficiais, instalados nas superfícies dos taludes, bermas e topo do aterro.

O monitoramento pós-encerramento do aterro tem por objetivo acompanhar o desempenho dos sistemas de proteção ambiental e garantir a segurança e a integridade do sistema. As atividades de monitoramento

das águas do subsolo e superficiais, de biogás, de efluentes líquidos e de recalques deverão estender-se por toda a vida ativa do sistema ou, então, até que as emissões atinjam padrões aceitáveis definidos pelo OCA.

Os principais aspectos a serem acompanhados e monitorados no período de pós-fechamento do aterro sanitário são:

- controle de erosão (inclui a manutenção do sistema de drenagem superficial/pluvial);
- acompanhamento dos recalques e possíveis deformações;
- monitoramento das águas subsuperficiais;
- drenagem, tratamento e monitoramento dos gases e lixiviados;
- dados meteorológicos;
- observação das condições da vegetação e presença de vetores e odores.

Os usos futuros dos aterros sanitários podem ser divididos em três categorias gerais: espaços abertos e de recreação; agricultura e desenvolvimento urbano.

### **Espaços abertos e recreação**

É considerada a forma mais adequada de uso futuro de sítios de aterros sanitários. Os tipos de usos podem ser para a prática de esportes locais (como campos de futebol).

### **Agricultura**

Aterros concluídos podem ser utilizados para pastagens ou plantações (de grãos, frutíferas, lenhosas, viveiros de mudas, etc.). Em ambos os casos, a camada de cobertura deve ter espessura suficiente de modo a garantir que as raízes não entrem em contato com resíduos dispostos.

### **Desenvolvimento urbano**

O uso de aterros sanitários encerrados, como locais para construção e, particularmente para o desenvolvimento urbano, de maneira geral deveria ser desencorajado devido às muitas e severas restrições. Estas incluem provável movimento de gases, corrosão do concreto, baixa capacidade de carga, e recalques diferenciados associados à construção e utilização das estruturas implantadas sobre o aterro.