



Monitoramento ambiental e geotécnico de locais de disposição final de resíduos sólidos urbanos

Eng. Amb. Adjane Damasceno de Oliveira
Eng. Civil Rafaella de Moura Medeiros



Programação

1

- I. Introdução
 - II. Monitoramento ambiental
-

2

- III. Monitoramento geotécnico
-



Interações antrópicas e sustentabilidade ambiental

- **SUSTENTABILIDADE** – capacidade de diversos sistemas da terra, incluindo as economias e sistemas culturais humanos, de sobreviverem e se adaptarem às condições ambientais em mudança.
- A primeira etapa para sustentabilidade é conservar o **capital natural**.



Interações antrópicas e sustentabilidade ambiental

CAPITAL NATURAL

=

RECURSOS NATURAIS

Ar

Água

Solo

Terra

Vida (biodiversidade)

Minerais não renováveis

Energia renovável

Energia não renovável

+

SERVIÇOS NATURAIS

Purificação do ar

Purificação da água

Renovação do solo

Reciclagem de nutrientes

Produção de alimentos

Polinização

Renovação de florestas

Tratamento de resíduos

Controle do clima

Controle populacional

Controle de pragas

Interações antrópicas e sustentabilidade ambiental

A **segunda etapa** em direção a sustentabilidade é reconhecer que muitas atividades humanas *degradam o capital natural* – utilização de recursos renováveis em velocidade maior do que a natureza consegue renová-lo.



Interações antrópicas e sustentabilidade ambiental

CAPITAL
NATURAL



DEGRADAÇÃO DO
CAPITAL NATURAL



SOLUÇÕES



COMPROMISSOS



SUSTENTABILIDADE





ECONOMIA LINEAR



ECONOMIA CIRCULAR



ETAPAS DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

PREVENÇÃO E NÃO GERAÇÃO

Seleção de materiais, *design*, a gestão para evitar ou reduzir a geração ou minimizar os riscos.

A PARTIR DA GERAÇÃO

Caracterização, segregação na origem, acondicionamento, armazenagem temporária e o planejamento de destinação.

OPERAÇÕES INTERMEDIÁRIAS

Transporte, armazenagem temporária, incluindo transbordo, a manufatura reversa, preparo ou tratamento.

OPERAÇÃO DE DESTINAÇÃO

Reutilização, reciclagem, recuperação energética, eliminação ou **DISPOSIÇÃO**.

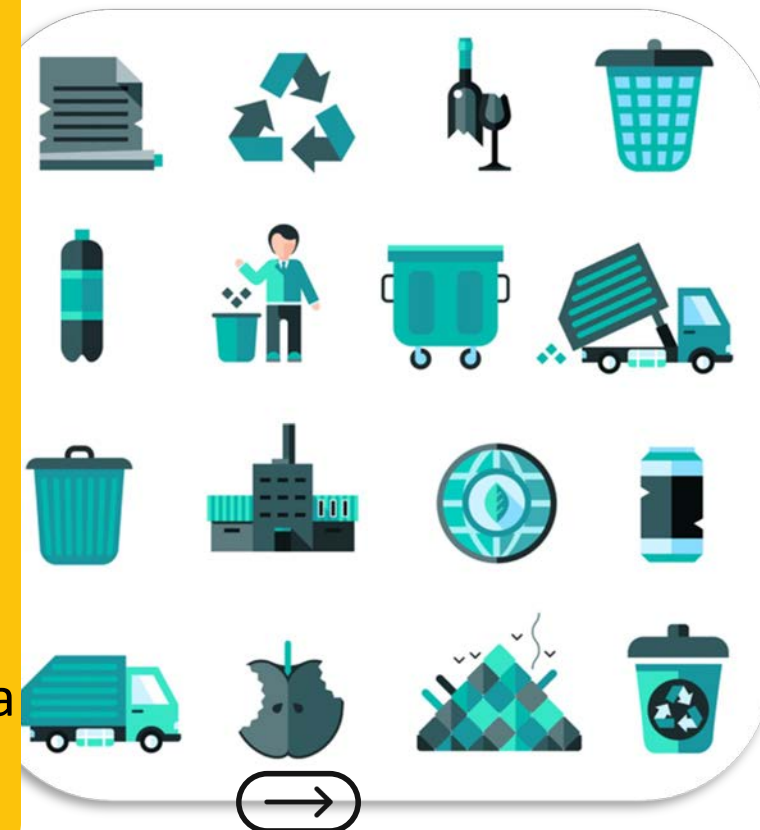
CONCEITOS

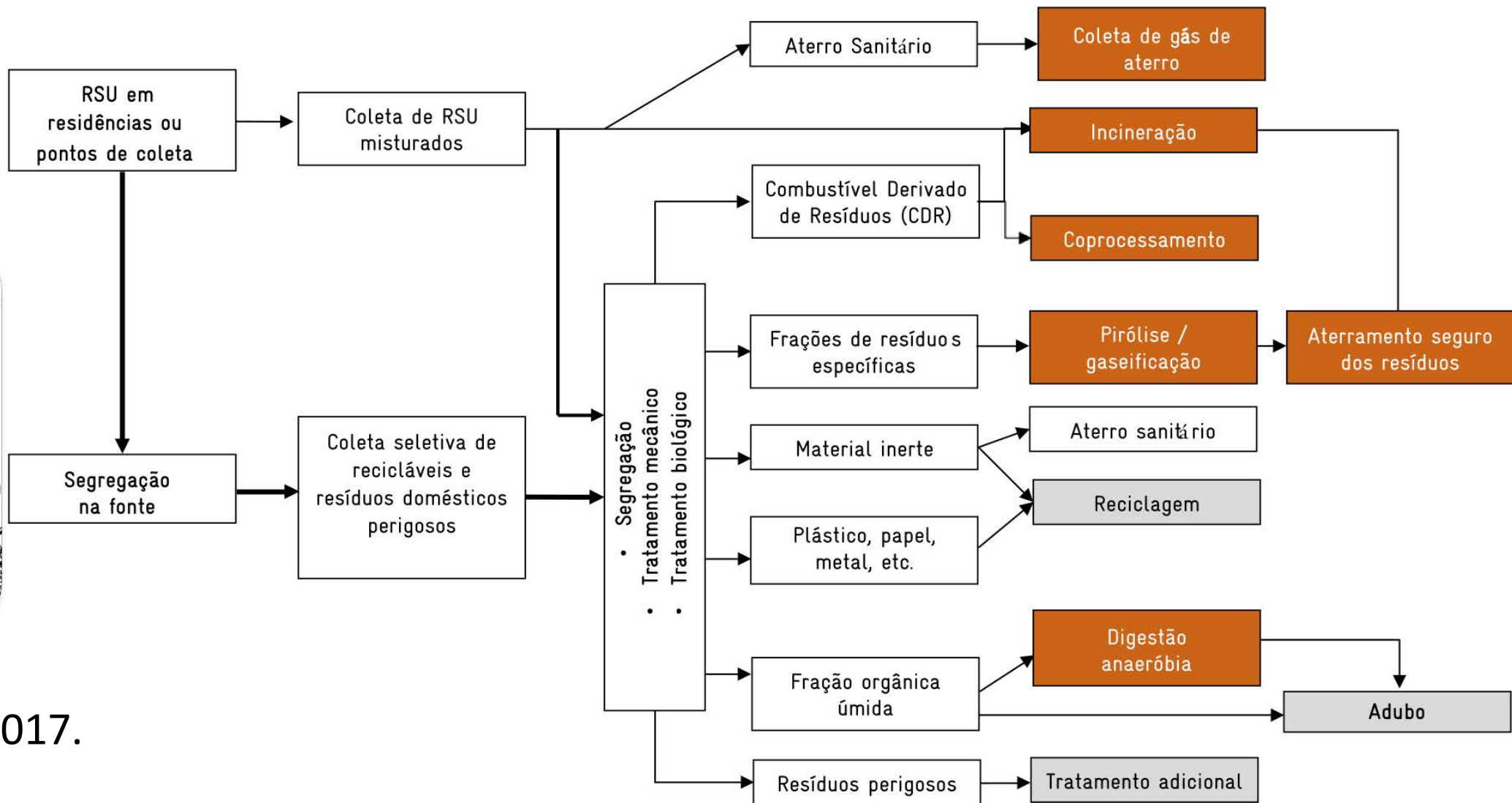
DESTINAÇÃO FINAL AMBIENTALMENTE ADEQUADA

destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

DISPOSIÇÃO FINAL AMBIENTALMENTE ADEQUADA

distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;





Protegeer, 2017.

CLASSIFICAÇÃO QUANTO A ORIGEM

Lei nº 12305/2010

A) RESÍDUOS DOMICILIARES

- RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ORIGINÁRIOS DE ATIVIDADES DOMÉSTICAS EM RESIDÊNCIAS URBANAS;
- EX: RESTOS DE ALIMENTOS, JORNAIS, REVISTAS, PAPEL HIGIÊNICO, GARRAFAS, FRALDAS DESCARTÁVEIS, ETC.;



CLASSIFICAÇÃO QUANTO A ORIGEM

B) RESÍDUOS DE LIMPEZA URBANA

OS RESÍDUOS DOS SERVIÇOS DE LIMPEZA PÚBLICA URBANA SÃO TAMBÉM CONHECIDOS COMO RESÍDUOS PÚBLICOS (RESÍDUOS DE VARRIÇÃO; LIMPEZA DE GALERIAS, CÓRREGOS, TERRENOS E PRAIAS; RESTOS DE PODAS; ETC.) E LIMPEZA DE FEIRAS LIVRES (RESTOS DE VEGETAIS, EMBALAGENS, ETC.).

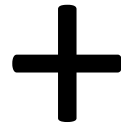
ESTÃO DIRETAMENTE ASSOCIADOS AO ASPECTO ESTÉTICO DA CIDADE.



CLASSIFICAÇÃO QUANTO A ORIGEM

C) RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:

Resíduos Domiciliares



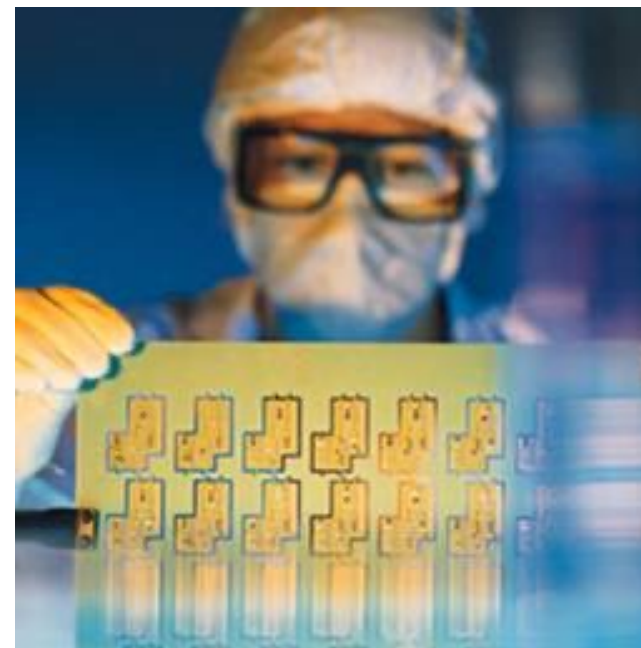
Resíduos de Limpeza Urbana



CLASSIFICAÇÃO QUANTO A PERICULOSIDADE

SEGUNDO SUA PERICULOSIDADE (NBR 10.004 - ABNT)

- RESÍDUOS CLASSE I (PERIGOSOS)
- RESÍDUOS CLASSE II (NÃO PERIGOSOS):
 - Classe IIA – não inertes
 - Classe IIB – inertes

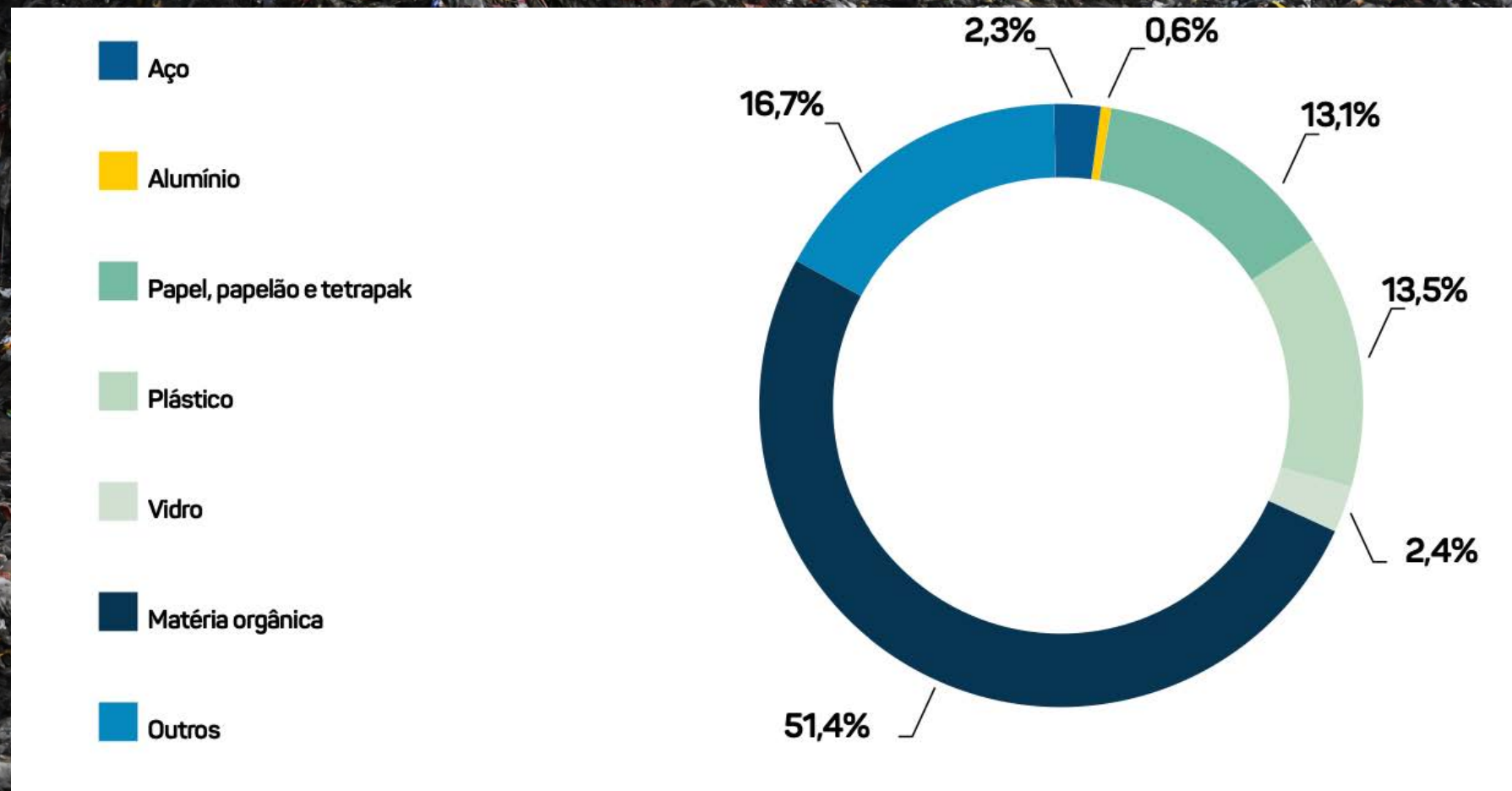


65,6 milhões t/ano

de resíduos sólidos urbanos coletados (SNIS, 2021)

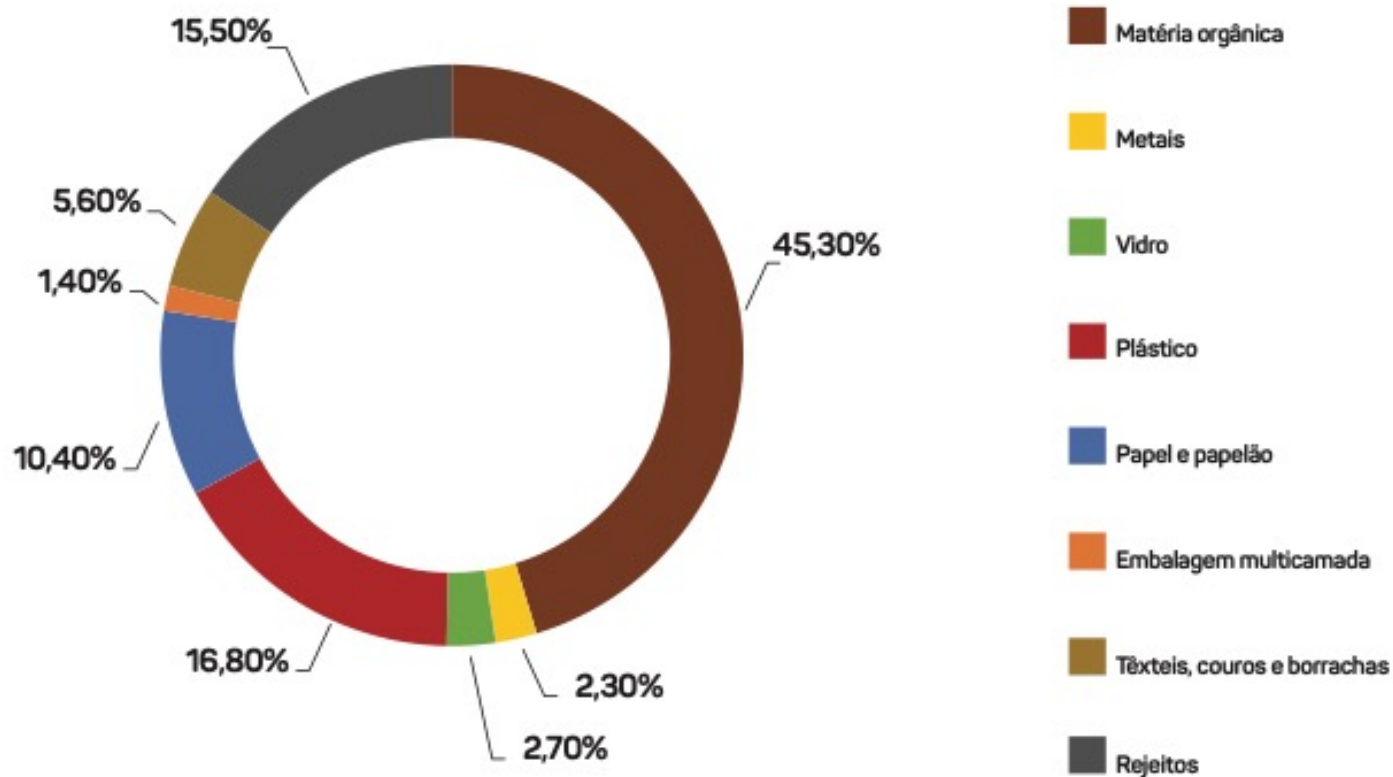


EVOLUÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO RSU BRASILEIRO



MMA, 2012.

EVOLUÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO RSU BRASILEIRO



Fonte: ABRELPE, 2020.

Interações antrópicas e sustentabilidade ambiental

RESOLUÇÃO CONAMA N. 237/1997

- **LICENCIAMENTO AMBIENTAL:** procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades.
- **LICENÇA AMBIENTAL:** ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades.



ETAPAS DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Realiza-se em um só nível de competência, compreendendo fases distintas, caracterizadas, de modo geral, pela emissão sucessiva ou isolada de três tipos básicos de licenças:


- **Licença Prévia (LP)** - é a licença concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, e atestando sua viabilidade ambiental;
- **Licença de Instalação (LI)** - é a licença que autoriza a instalação do empreendimento ou atividade;
- **Licença de Operação (LO)** - é a licença que autoriza a operação do empreendimento ou atividade, cumpridas as restrições e condicionantes das licenças anteriores e resguardadas as medidas de controle ambiental do projeto.



O QUE SIGNIFICA MONITORAR?!


Observar em determinado período de **tempo** se as condições de um objeto/equipamento/estrutura está dentro dos **padrões**.






Aspecto ambiental: Elementos das atividades, produtos e serviços de uma organização **que podem interagir** com o meio ambiente.
(ISO 14.001)

Impacto ambiental: Alteração das características físicas, química e biológicas do meio ambiente, **resultante das atividades humanas**, que direta ou indiretamente **afetem a saúde, segurança e bem-estar da população**, as atividades socioeconômicas, a biota, o meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.
(Resolução do Conama 001/86)





Poluição: Liberação de substâncias químicas ou agentes contaminantes em um ambiente.

Alteração de suas características causada pela introdução de substâncias que possam prejudicar seus legítimos usos.

Contaminação: Presença de agentes ou substâncias indesejáveis que desvalorize o recurso, ou confirmam características nocivas ou tóxicas. Oferecendo riscos à saúde.

POLUIÇÃO X CONTAMINAÇÃO





Implantação de uma atividade de monitoramento




Levantamento detalhado das **características da área** a ser monitorada.




Seleção prévia de **indicadores** que expressem as condições qualitativas ou quantitativas do que será medido e avaliado.



Definidos os pontos fixos de monitoramento, onde os parâmetros são analisados conforme o ambiente específico.






Coleta de dados.

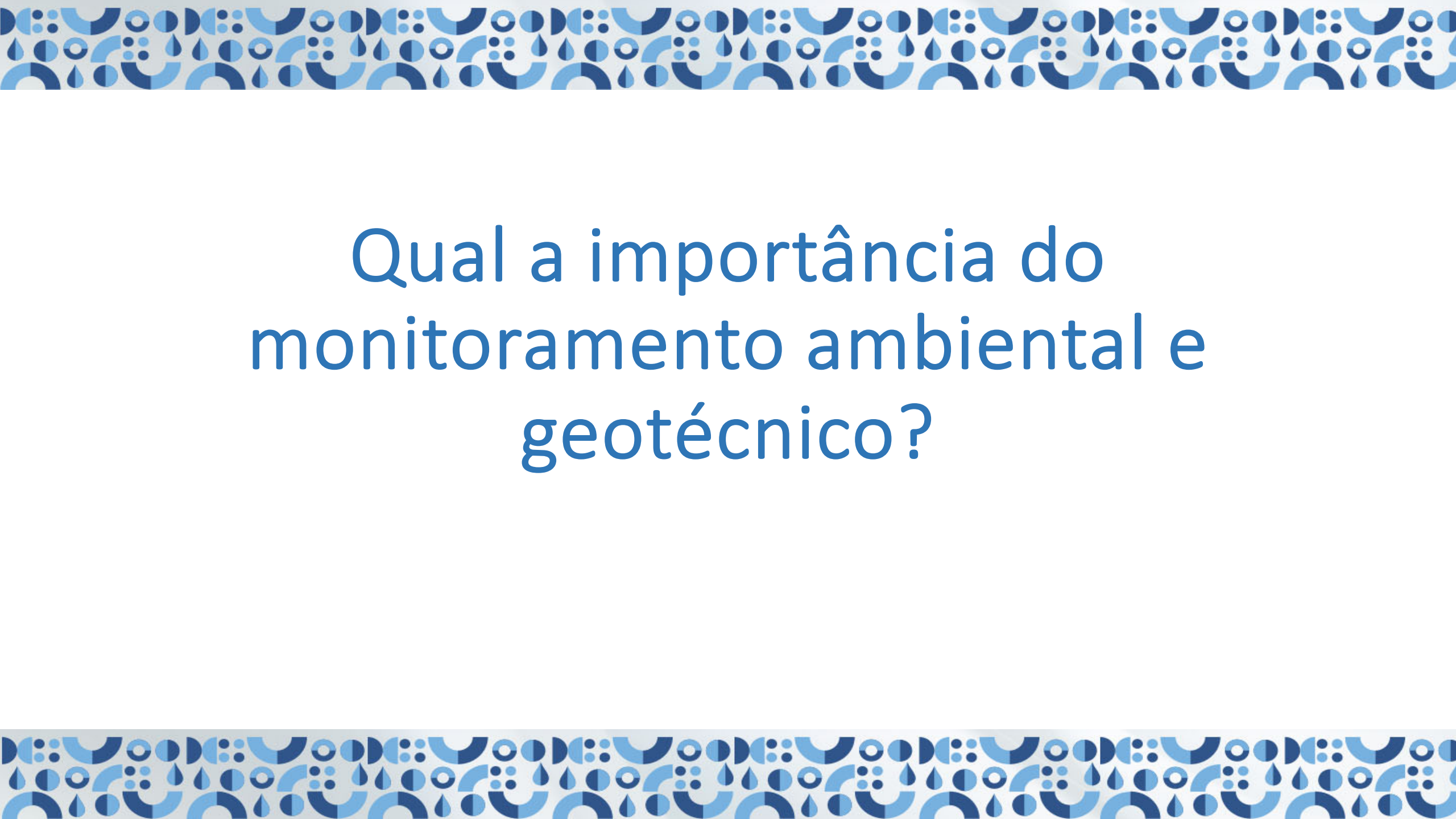


Análise dos resultados. Comparação com legislações vigentes.




Relatório de monitoramento ambiental.





Qual a importância do
monitoramento ambiental e
geotécnico?




Identificar alterações no
padrão do comportamento
previsto

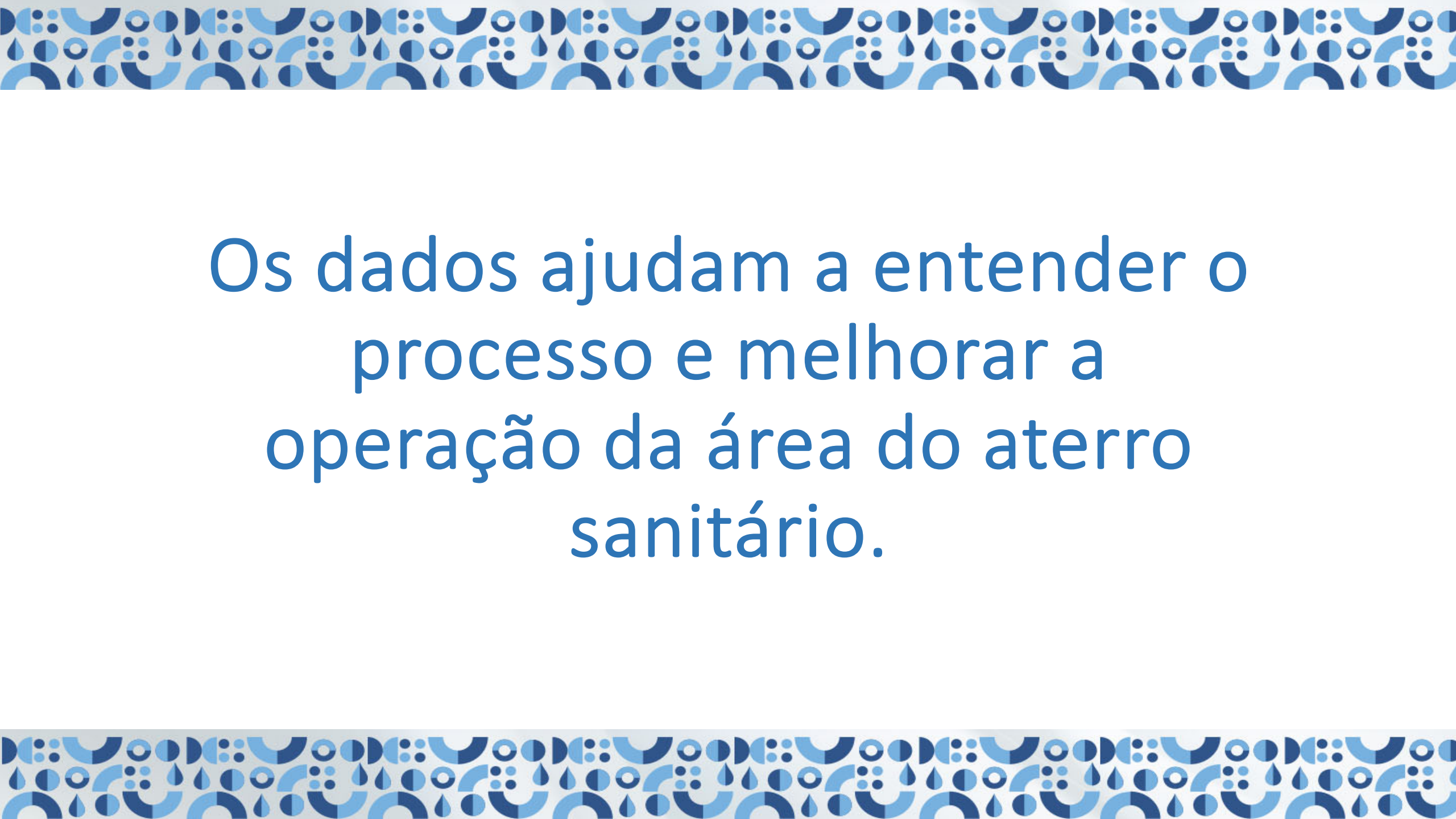
Elaboração dos projetos e dos
sistemas de controle de
poluição

Informação é poder!

Monitoramento dos sistemas e
estruturas do aterro

Proposição de medidas
corretivas e preventivas





Os dados ajudam a entender o processo e melhorar a operação da área do aterro sanitário.

Monitoramento de áreas de disposição de RSU, quando fazer?




ÁREAS DE DISPOSIÇÃO: ATIVIDADE DE SIGNIFICATIVO IMPACTO AMBIENTAL


PROGRAMA DE MONITORAMENTO



CONCEPÇÃO, IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E APÓS O ENCERRAMENTO



O aterro sanitário é uma tecnologia consolidada, mas é um processo que está vivo portanto, alguns fatores influenciam no seu comportamento:

- Características do resíduo;
 - Quantidade de resíduo;
 - Clima;
 - Métodos de aterramento.
- 




MÉTODOS DE ATERRAMENTO

A escolha do método depende:


- Da topografia
- Características do solo
- Profundidade do lençol freático
- Quantidade de resíduos a dispor
- Disponibilidade de equipamentos e recursos.

Os métodos são diferenciados basicamente pela formas construtivas e operacionais adotadas para o aterro.





MÉTODO DA TRINCHEIRA

- **Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada .**
 - INDICADO PARA TERRENOS PLANOS OU LEVEMENTE INCLINADOS, ONDE O NÍVEL FREÁTICO NÃO É RASO.
 - Inviável para terrenos rochosos.
 - Geralmente utilizado para municípios de pequeno a médio porte (operação e equipamentos mais simples).
 - • Inclinação dos taludes: 1:1 a 1:3.
- 

MÉTODO DA TRINCHEIRA



MÉTODO DA VALA

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada.



MÉTODO DA RAMPA

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pelo uso de taludes preexistentes, usualmente implantado em áreas de ondulações ou depressões naturais e encostas de morros.



MÉTODO DA ÁREA

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.





MÉTODO DA ÁREA

Consiste na formação de camadas (tronco piramidal) de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno;

Também denominado método do aterro superficial (ou “bolo de noiva”);

Geralmente utilizado para locais de topografia plana e lençol freático raso;

Resulta em maior quantidade de resíduo por área.

Utilizado principalmente nas **idades de maior porte**;

Inclinação das células deve ser suave ($\sim 1:4$) de modo a evitar deslizamento e obter um maior grau de estabilidade na medida que o aterro se eleva;

Altura da célula: **3 a 5 m**.






Monitoramento de aterro sanitário

MEIO FÍSICO: ÁGUA, AR, SOLO

MEIO BIÓTICO: FAUNA, FLORA

MEIO SOCIO-ECONÔMICO: SAÚDE, QUALIDADE DE VIDA, GERAÇÃO DE EMPREGO.




Monitoramento de aterro sanitário

- Fornece informações para o controle da **estabilidade estrutural** (monitoramento geotécnico) e do **impacto ambiental** do aterro de resíduos (monitoramento ambiental);
- Auxilia na proposição de **medidas corretivas**;
- Verifica se as **as estruturas** cumprem com a função de **isolar o entorno** minimizando o **potencial poluidor**.





Monitoramento ambiental em aterro sanitário

- 1) Monitoramento da qualidade das águas superficiais
 - 2) Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas
 - 3) Monitoramento do solo
 - 4) Monitoramento do sistema de tratamento de líquidos lixiviados
 - 5) Monitoramento das vias internas
 - 6) Monitoramento da qualidade do ar
 - 7) Monitoramento dos ruídos
- 

Planos de monitoramento

- Parâmetros a serem monitorados
- Periodicidade de amostragem
- Pontos de coleta de amostra
- Métodos de coleta e análise



Monitoramento das águas subterrâneas

Avaliar a eficiência dos sistemas de impermeabilização e drenagem de **lixiviados** e detectar alterações na **qualidade da água subterrânea**.



Monitoramento das águas subterrâneas



- **Localização dos poços de monitoramento:** no mínimo 4 poços, sendo um a montante e três a jusante no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático (NBR 15489/2010 e 13896/1997).
- **Diâmetro mínimo dos poços:** 10,16 cm (4 pol.), revestidos e tampados na parte superior (NBR 13896/1997).
- **Amostragem:** NBR 15847/2010.
- **Período de Monitoramento:** durante a vida útil incluindo o período pós-fechamento (20 anos a 80 anos). Este prazo pode ser reduzido se for constatado o término da geração de líquido percolado).

POÇO DE MONITORAMENTO

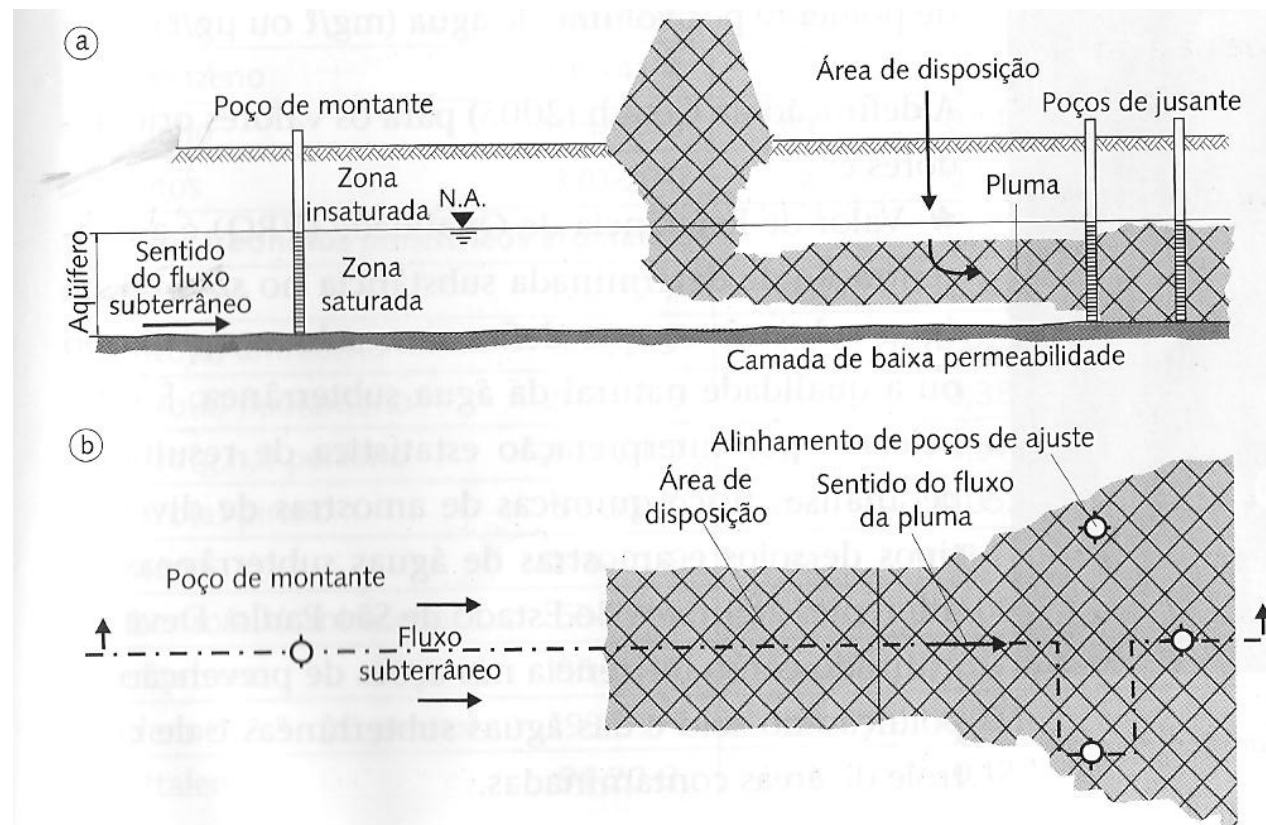
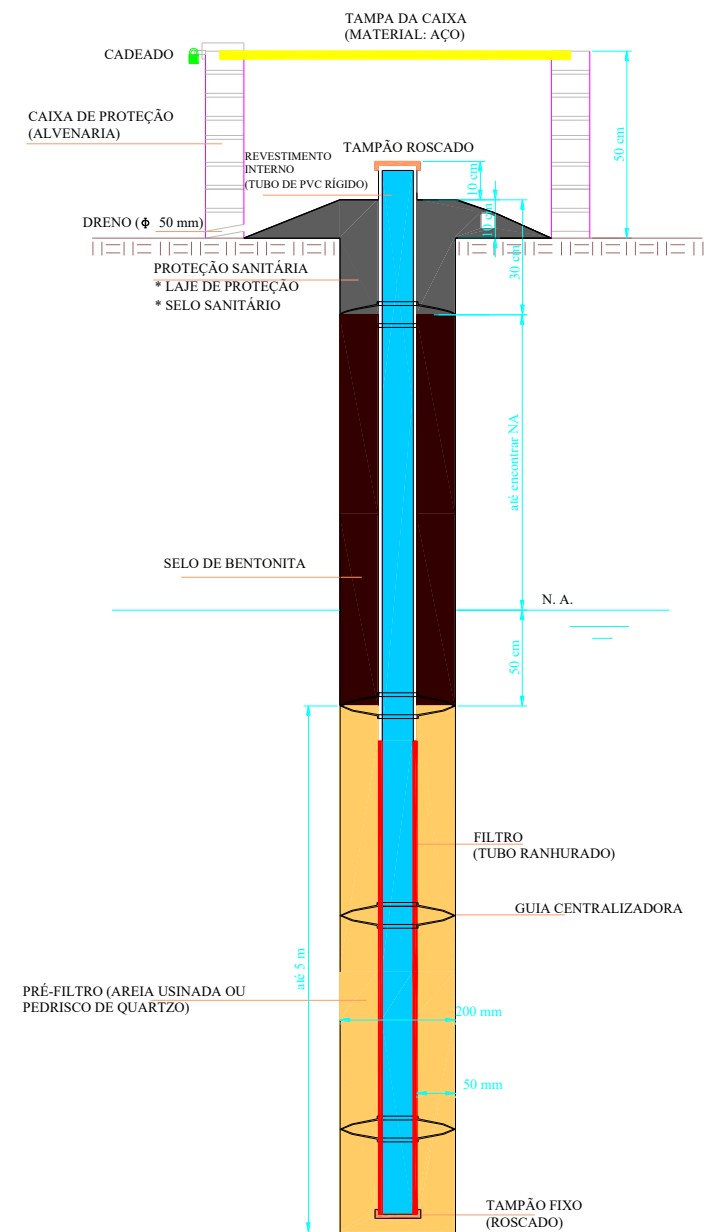
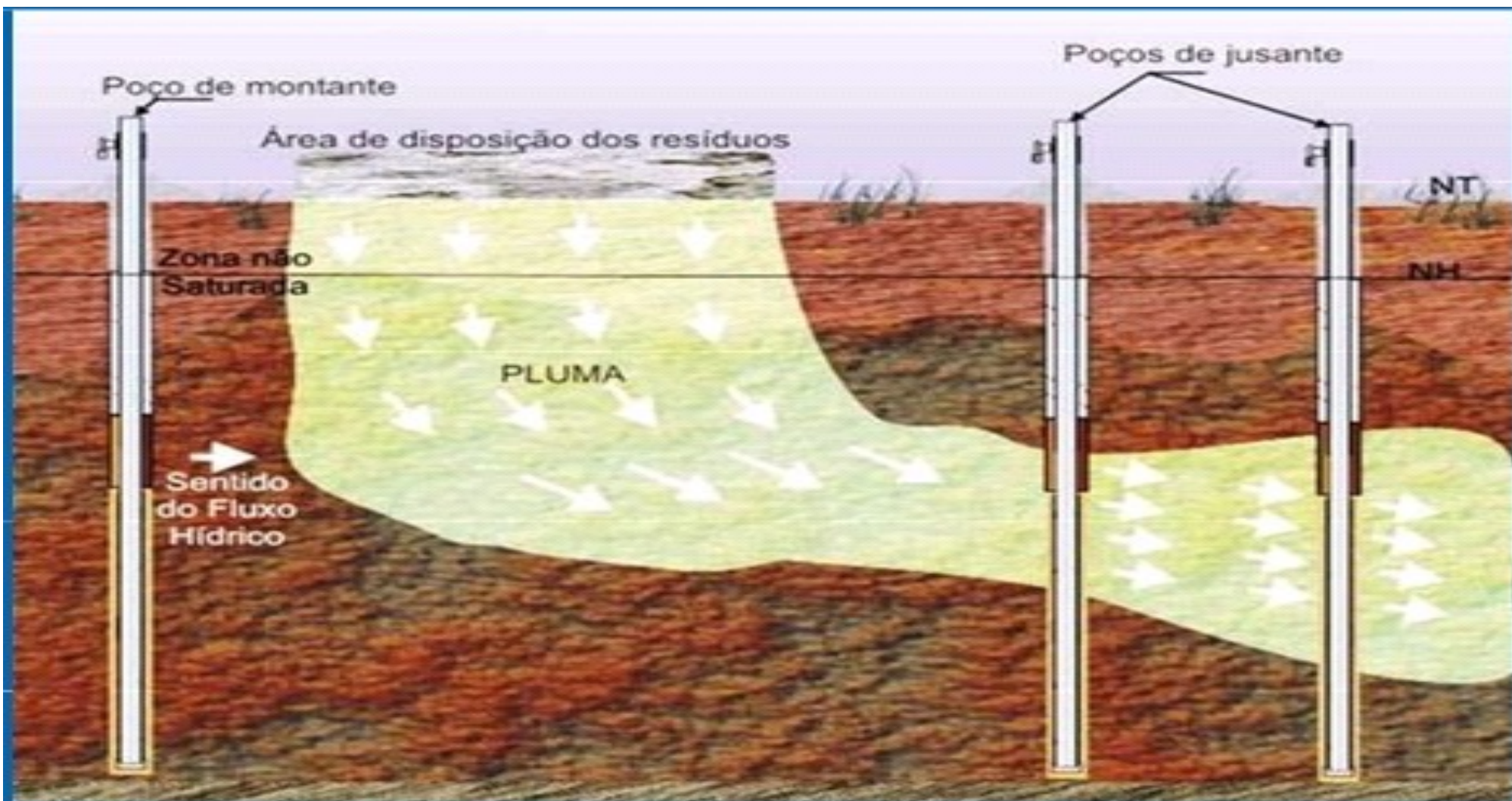


Fig. 8.18 Localização de poços de monitoramento para controle da qualidade da água subterrânea em aterro de resíduos: (a) corte; (b) planta
 Fontes: (a) Ferrari, 2005; (b) ABNT, 1997.



Monitoramento das águas subterrâneas

Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008

Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Parâmetros	Nº CAS	Usos Preponderantes da Água				LQP Praticável - LQP
		Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação	
Inorgânicos		µg.L-1				
Alumínio	7429-90-5	200 (1)	5.000	5.000	200	50
Antimônio	7440-36-0	5				5
Arsênio	7440-38-2	10	200		50	8
Bário	7440-39-3	700			1.000	20
Berílio	7440-41-7	4	100	100		4

Monitoramento das águas superficiais

- Avaliar **alterações nos cursos de água** da região onde se localiza o aterro.



Monitoramento das águas superficiais

Resolução nº 357, de 17 de março de 2005

Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

TABELA I - CLASSE 1 - AGUAS DOCES	
PADROES	
PARÂMETROS	VALOR MAXIMO
Clorofila <i>a</i>	10 µg/L
Densidade de cianobactérias	20.000 cel/mL ou 2 mm ³ /L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MAXIMO
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Antimônio	0,005mg/L Sb

Qualidade das águas superficiais





Monitoramento do solo

Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 .

Alterada pela Resolução CONAMA no 460/2013 (altera o prazo do art. 8º, e acrescenta novo parágrafo).

Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Monitoramento do sistema de tratamento de lixiviados

- Monitorar a **qualidade e quantidade de lixiviados** gerados no aterro sanitário;
- Avaliar a **eficiência do sistema de tratamento** e atender aos **padrões de lançamento** em corpos de água.

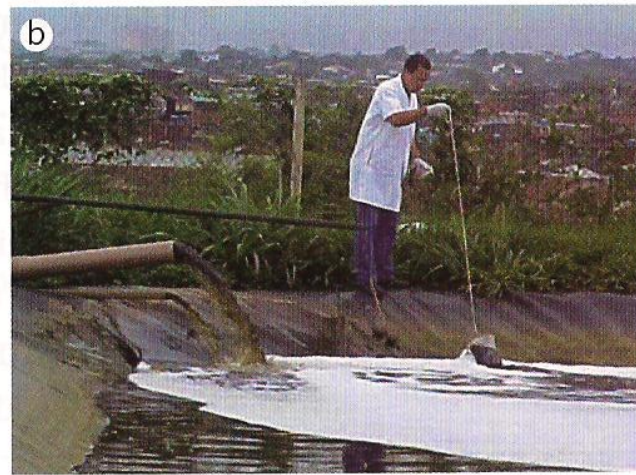


Fig. 8.16 Coleta de amostras: (a) curso d'água; (b) reservatório de percolado
Fonte: Monteiro, 2006.

Coleta de amostras

Tabela 1. Comparação entre recipientes de vidro (borossilicato) e polietileno, polipropileno ou outro polímero inerte.

Condições Operacionais	Material	
	Vidro (Borossilicato)	Plástico (polímero inerte)
Interferência com a amostra	Indicado para todas as análises de compostos orgânicos. Inerte a maioria dos constituintes, exceto a forte alcalinidade. Adsorve metais em suas paredes.	Indicado para a maioria dos compostos inorgânicos, biológicos e microbiológicos. Pode contaminar amostras com ftalatos.
Peso	Pesado	Leve
Resistência à quebra	Muito Frágil	Durável
Limpeza	Fácil	Alguma dificuldade na remoção de componentes adsorvíveis
Esterilizável	Sim	Apenas por técnicas de uso pouco comum no Brasil, como óxido de etileno e radiação gama. Alguns tipos são autoclaváveis.

Coleta de amostras

Preservação da amostra

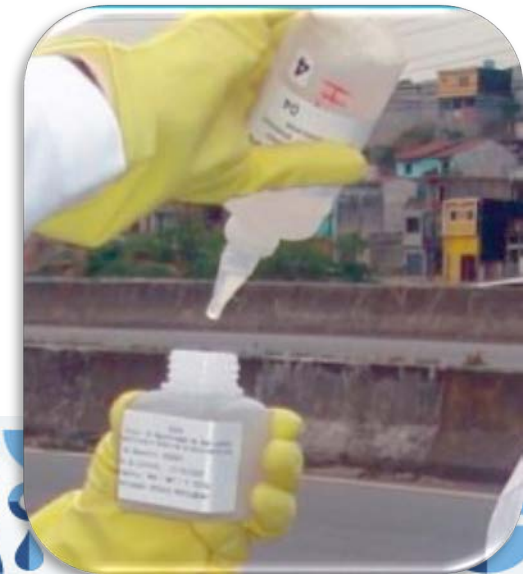
- Retardar a **ação biológica** e a alteração dos **compostos químicos**;
- Reduzir a **volatilidade** ou **precipitação** dos constituintes e os efeitos de adsorção;
- Preservar **organismos**, evitando ou minimizando alterações morfológicas, fisiológicas e de densidades populacionais, em todas as etapas da amostragem.



Coleta de amostras

Preservação da amostra

- Adição química
 - ✓ Método de preservação **mais conveniente**;
 - ✓ Um reagente químico é **adicionado previamente** (ensaios microbiológicos) ou imediatamente **após a tomada da amostra**, promovendo a **estabilização dos constituintes** de interesse por um período maior;
 - ✓ Para cada ensaio existe uma **recomendação específica**.



Coleta de amostras

Preservação da amostra

- Congelamento

- ✓ Técnica **aceitável** para alguns ensaios e serve para aumentar o intervalo entre a coleta e o **ensaio da amostra *in natura***, sem comprometer esta última;
- ✓ **Inadequada** para as amostras cujas **frações sólidas** (filtráveis e não filtráveis) alteram-se com o congelamento e posterior retorno à temperatura ambiente, e para a maioria das **determinações biológicas e microbiológicas**.



Coleta de amostras

○ Preservação da amostra

• Refrigeração



- ✓ Técnica **comum** em trabalhos de campo e pode ser utilizada para preservação de amostras mesmo **após a adição química**, sendo empregada frequentemente na preservação de amostras para **ensaios microbiológicos, físico-químicos orgânicos e inorgânicos, biológicos e toxicológicos**.



Sistema de Impermeabilização inferior

Função:

- Evitar que o lixiviado “escape” pelo fundo do aterro e contamine o subsolo e águas subterrâneas;
- Evitar surgência de água subterrânea, de forma a aumentar a quantidade de lixiviado.

Escolha do tipo de impermeabilização:

- Tipo de resíduos;
- Profundidade do lençol freático;
- Forma de operação do aterro.

No Brasil, a exigência mínima para a contenção de lixiviados não-perigosos é de que as camadas de fundo e laterais possuam uma camada simples, que pode ser de **argila compactada de permeabilidade inferior a 10^{-5} cm/s**.

JUN 1997

NBR 13896

**Aterros de resíduos não perigosos -
Critérios para projeto, implantação e
operação**



Monitoramento dos sistemas de impermeabilização inferior

IMPORTÂNCIA: IMPEDE A INFILTRAÇÃO DO LIXIVIADO NO SOLO.

MONITORAMENTO:
INSPEÇÃO VISUAL
MANUTENÇÃO
TESTES DE MATERIAIS E DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Monitoramento dos sistemas de impermeabilização inferior

MATERIAIS EMPREGADOS:

- ✓ ARGILAS COMPACTADAS;
- ✓ NBR14545/2000 – Determinação do coeficiente de permeabilidade.
- ✓ NBR 7182/1986 - Ensaio de compactação.
- ✓ Espessura da camada argilosa:
 - normalmente utilizada uma espessura de **60 A 100 cm**.
 - Deve ser executada em camadas compactadas de, no máximo, **20 cm** de espessura.



Monitoramento dos sistemas de impermeabilização inferior

MATERIAIS EMPREGADOS:

- GEOMEMBRANAS SINTÉTICAS;
- ✓ espessura mais utilizada: 1,5 mm.
- ✓ NBR 15352/2006 MANTA DE PEAD e NBR 9690/2007 MANTA DE PVC
- NBR 9574/2008 – Execução de impermeabilização.





Monitoramento dos sistemas de impermeabilização inferior

GEOMEMBRANAS

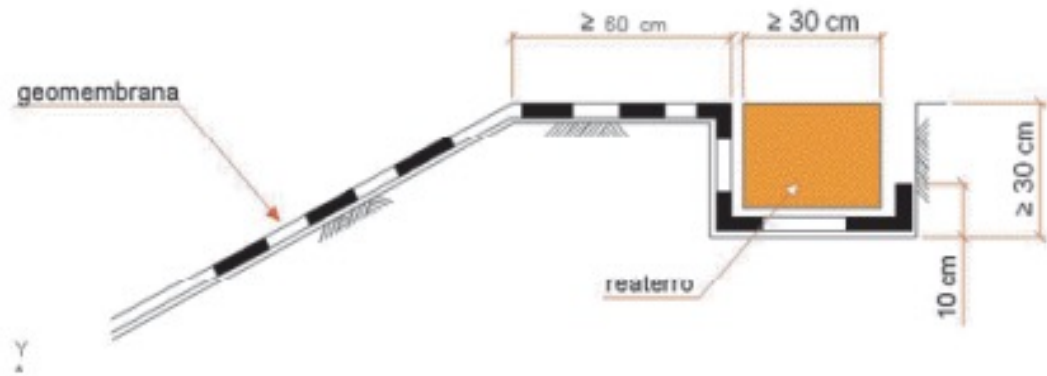
- **VANTAGENS:** RESISTÊNCIA A ÓLEOS E SOLVENTES, BAIXA PERMEABILIDADE A VAPORES DE ÁGUA E GÁS, RESISTÊNCIAS ÀS INTEMPÉRIES E A ALTAS TEMPERATURAS;
- **DESVANTAGENS:** SUJEITA A RACHADURAS E PUNÇÃO, DIFÍCIL DE MANUSEAR EM CAMPO, ALTO CUSTO.
- **ESPESSURAS MAIS UTILIZADAS:** 1,5 a 2,0 mm.



Impermeabilização de Fundo com Argila



IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTA DE P.E.A.D (INÍCIO DAS INSTALAÇÕES)





ANCORAGEM DAS MANTAS



SOLDA POR TERMOFUSÃO



Monitoramento das vias internas

IMPORTÂNCIA:

PERMITE A INTERLIGAÇÃO ENTRE OS DIVERSOS PONTOS DA ÁREA, BEM COMO GARANTIR QUE O RESÍDUO CHEGUE AS FRENTES DE DESCARGA.

RECOMENDAÇÕES:

- OS TRECHOS QUE APRESENTAREM MENOR CAPACIDADE DE SUPORTE OU ADERÊNCIA DEVERÃO SER REVESTIDOS COM BRITA, CASCALHO OU ENTULHO;
- A PISTA DE ROLAMENTO DEVE TER CAIMENTO TRANSVERSAL DA ORDEM DE 2% ENCAMINHANDO TODA A ÁGUA DA CHUVA PARA O SISTEMA DE DRENAGEM QUE MARGEIA A ESTRADA;
- A INCLINAÇÃO LONGITUDINAL DOS ACESSOS DEVE SER LIMITADA A 15%.
- REALIZAR MANUTENÇÃO DAS VIAS
- REALIZAR LIMPEZA DAS VIAS
- UMIDIFICAÇÃO DA VIA PARA EVITAR EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO.



Monitoramento das vias internas

SÃO DIVIDIDAS EM DOIS TIPOS:

- AS DE **USO PERMANENTE** DEVEM RECEBER OBRAS DE MELHORIA EM TODA SUA EXTENSÃO, ALÉM DE SEREM CONSTRUÍDAS COM LARGURA MÍNIMA DE **8,0 m**;
- AS DE **USO TEMPORÁRIO** DEVEM RECEBER APENAS AS OBRAS INDISPENSÁVEIS, EVITANDO-SE, NA MEDIDA DO POSSÍVEL, GRANDES INVESTIMENTOS; LARGURA MÍNIMA DE **5,0 m**;

MONITORAMENTO:

VISUAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE EROSÕES, FISSURAS, ACÚMULO DE ÁGUA.

Sistema de monitoramento de emissões atmosféricas

- Preservar a qualidade do ar e evitar **doenças**, como as **respiratórias**.



Sistema de monitoramento de emissões atmosféricas

Monitoração ambiental

“Outdoor” sampling

“Indoor” sampling

Atmosferas abertas



Atmosferas internas




→ Ambientes contaminados:

- Gases provenientes do solo
- Compostos voláteis no ambiente de trabalho (saúde ocupacional)



Monitoramento das emissões atmosféricas

Monitoramento de emissões atmosféricas

- Intenso fluxo de veículos, máquinas e equipamentos: **suspensão de material particulado**.
 - Amostragens de partículas inaláveis e suspensas que são correlacionadas com as características climatológicas.
 - A frequência de monitoramento irá diferir de acordo com o órgão ambiental.
 - Coletas dos dados: período ininterrupto de 24 horas, a cada seis dias, de forma a contemplar todos os dias da semana.
- 

Monitoramento de emissões atmosféricas

Quadro: Métodos de medição dos parâmetros (ou equivalentes)

PARÂMETROS	UNIDADE	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	$\mu\text{g}/\text{m}^3 - 24\text{h}$	Amostrador de grandes volumes
Partículas Inaláveis	$\mu\text{g}/\text{m}^3 - 24\text{h}$	Separação Inercial/Filtração
Fumaça	$\mu\text{g}/\text{m}^3 - 24\text{h}$	Refletância
Dióxido de Enxofre	$\mu\text{g}/\text{m}^3 - 24\text{h}$	Peróxido de Hidrogênio
Dióxido de Nitrogênio	$\mu\text{g}/\text{m}^3 - 1\text{h} (*)$	Quimiluminescência
Monóxido de Carbono	(ppm) – 8h	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	$\mu\text{g}/\text{m}^3 - 1\text{h}$	Quimiluminescência

(*) alterado para 24h em função da adequação da metodologia de amostragem

Fonte: Resolução CONAMA Nº 03 de 28.06.90



Monitoramento de emissões atmosféricas

Partículas Totais em Suspensão - Amostrador de grandes volumes (Hi-Vol)

- A metodologia utilizada no Brasil é a [NBR 9547 – Material Particulado](#) em suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume;
- O Hi-Vol é composto basicamente de:
 - ✓ amostrador;
 - ✓ casa ou gabinete;
 - ✓ rotâmetro;
 - ✓ regulador;
 - ✓ controlador de fluxo.





Monitoramento de emissões atmosféricas

Partículas Totais em Suspensão - Amostrador de grandes volumes (Hi-Vol)

- Consiste em **succionar o ar** ambiente para o interior de um **abrigo**, através de uma **bomba**, passando por um **filtro** de vidro de 8" x 10", a uma vazão de 1,1 a 1,7 m³/min e por um período de **24 horas corridas**;
- O **material** com diâmetro entre **0,1 e 100 micra** é **retido no filtro**;
- Um **medidor de vazão** registra a **quantidade de ar succionada**;
- A concentração de partículas em suspensão no ar ambiente é então **gravimetricamente determinada**, relacionando-se a **massa retida no filtro e o volume de ar succionado**.



Monitoramento de emissões atmosféricas

Partículas Inaláveis - Separação Inercial/Filtração

- Amostradores de Grande Volume ([Hi-Vol MP10](#));
- A metodologia adotada é a [Norma 13412 – Material Particulado](#) na atmosfera – determinação da concentração de [partículas inaláveis](#) pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas;
- A metodologia consiste na [separação](#), por inércia, do material particulado de tamanho superior a 10 μ m, [através de chicanas](#);
- As [partículas menores](#), que passam por estas chicanas ficam [retidas em papel filtro](#).

Monitoramento de emissões atmosféricas

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB
COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

CARTÃO - ÍNDICE DE FUMAÇA TIPO RINGELMANN REDUZIDO

INSTRUÇÕES DE USO

1ª Na avaliação de fontes móveis, assegure-se de que o veículo esteja em movimento, com carga no motor, e que a fumaça observada, a olho nu, seja contínua por um período mínimo de 5 segundos. A emissão de fumaça em regime transitório, durante arrancadas do veículo, saída de semáforos, lombadas ou valetas, trocas de marchas etc, não deve ser considerada na avaliação.

2ª Segure o cartão com o braço totalmente estendido e compare a fumaça (vista pelo orifício) com o padrão colorimétrico, determinando qual a tonalidade da escala que mais se assemelha com a tonalidade (densidade) da fumaça.

3ª Para confirmação do padrão da emissão de fumaça emitida por veículos, o observador deverá estar a uma distância de 20 a 50 metros do veículo observado.

4ª Para a confirmação do padrão de fumaça emitida por chaminés, o observador deverá estar a uma distância de 30 metros a 150 metros da mesma.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Cod.3.0279-810.

LEGISLAÇÃO, NORMAS E PADRÕES

I - FONTES ESTACIONÁRIAS:

1 - Legislação Estadual (SP):
O Regulamento da Lei 997, de 31.05.76 aprovado pelo Decreto nº 8468, de 06.09.76, cap.II, seção II, art.31, e suas alterações.

2 - Norma CETESB L9.061 - Determinação de grau de enegrecimento de fumaça emitida por fontes estacionárias utilizando a Escala de Ringelmann reduzida.

3 - Padrão: O grau de enegrecimento da fumaça de fontes estacionárias não poderá exceder o padrão n.º 1, salvo nas situações previstas na legislação acima.

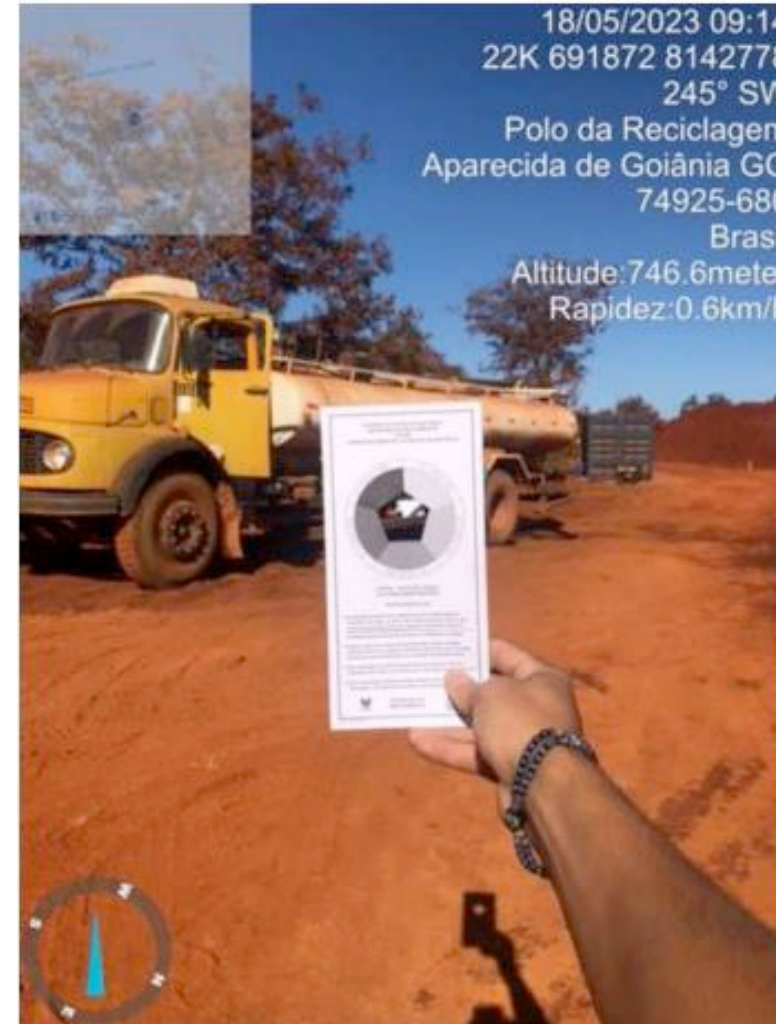
II - VEÍCULOS:

1- Legislação Estadual (SP):
O Regulamento da Lei 997, de 31.05.76 aprovado pelo Decreto n.º 8468 de 06.09.76, cap. II, seção II, art. 32 e suas alterações.

- Padrão: O grau de enegrecimento da fumaça de veículos movidos a óleo diesel não poderá exceder o padrão n.º 2 por mais de 5 (cinco) segundos consecutivos.

2 - Legislação Federal:
2.1 - Portaria MINTER Nº 100 de 14.07.80.
2.2 - Padrões: O grau de enegrecimento da fumaça de veículos movidos a óleo diesel, em qualquer regime de funcionamento, não poderá exceder:
N.º 2: para veículos em localidades até 500 (quinhentos) metros de altitude e veículos de circulação restrita a centros urbanos, em qualquer altitude.
N.º 3: para veículos em localidades acima de 500 (quinhentos) metros de altitude.

3 - Normas Brasileiras
- NBR 6016 - Gás de escapamento de motor diesel - avaliação de teor de fuligem com a escala de Ringelmann.





Monitoramento de ruídos

- Monitorar os **níveis de ruídos** gerados em um aterro sanitário.
- ✓ NBR 10151 (2019): Avaliação do ruído em **áreas habitadas**, visando o conforto da comunidade (procedimentos);
- ✓ Resolução CONAMA nº 01 (1990): **Controle** da poluição sonora.
- ✓ NR-15 de Segurança do trabalho e e saúde ocupacional: intensidade x tempo de exposição



Monitoramento de ruídos

○ Som X Ruído

- Som é a propagação de ondas de pressão no ar;
- Ruído é um som indesejável para os ouvidos humanos e dos seres vivos, de uma forma geral.



Monitoramento de ruídos e vibrações

○ Medição do som

- O som é medido com um instrumento que **converte a energia das ondas de pressão em um sinal elétrico**: **Sonômetro**.
- Um **microfone** capta as ondas de pressão e um medidor lê o nível de pressão sonora, diretamente calibrado para decibéis;
- Os dados obtidos com o **medidor de nível de pressão sonora** representam uma medição precisa do **nível de energia no ar**.



Poluição sonora

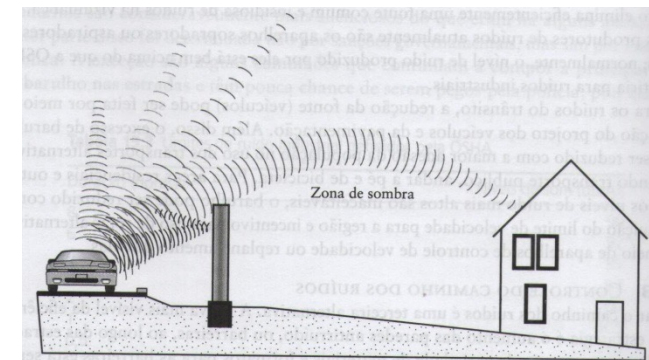
○ Controle de ruídos

- Proteção do receptor



- Controle do caminho dos ruídos

- Redução das fontes de ruídos




Poluição sonora





Monitoramento geotécnico em aterro sanitário

- 1) Monitoramento do sistema de drenagem de águas pluviais
 - 2) Monitoramento dos sistemas de drenagem de gases
 - 3) Monitoramento do sistema de impermeabilização superior
 - 4) Monitoramento do sistema de drenagem de lixiviado
 - 5) Monitoramento de recalque
 - 6) Monitoramento da estabilidade
- 

Monitoramento dos sistemas de drenagem de águas pluviais

MONITORAMENTO:
INSPEÇÃO VISUAL
MANUTENÇÃO
LIMPEZA PERIÓDICA

IMPORTÂNCIA:
EVITAR EROSÃO
POSSIBILITAR A OPERAÇÃO (períodos chuvosos)
MINIMIZAR A VAZÃO DE LIXIVIADO



• RECOMENDAÇÕES:

- NO CASO DE ATERROS CLASSE II, AS ESTRUTURAS DEVEM SER DIMENSIONADAS PARA DRENAR UMA CHUVA DE PICO COM PERÍODO DE RETORNO DE **5 ANOS**;
- SEMPRE QUE POSSÍVEL UTILIZAR VALAS ESCAVADAS NO TERRENO, EVITANDO-SE O USO DE TUBULAÇÕES ENTERRADAS;
- AS ESTRUTURAS DRENANTES MAIS COMUNS SÃO AS MEIAS CANAS DE CONCRETO;
- PREFERENCIALMENTE O SISTEMA DEVE ACOMPANHAR AS ESTRADAS DE SERVIÇO

Monitoramento dos sistemas de drenagem de águas pluviais

DEVEM SER PREVISTOS EM UM ATERRO:

- SISTEMAS PARA DRENAGEM DAS ÁGUAS QUE PRECIPITAM À MONTANTE DA ÁREA DO ATERRO, EVITANDO SEU ESCOAMENTO ATRAVÉS DESTA;
- SISTEMA PARA DRENAGEM DAS ÁGUAS QUE PRECIPITAM SOBRE A ÁREA DO ATERRO, DURANTE A FASE DE OPERAÇÃO, EVITANDO QUE ELAS PERCOLEM ATRAVÉS DOS RESÍDUOS;
- SISTEMAS PARA DRENAGEM DAS ÁGUAS QUE PRECIPITAM SOBRE O ATERRO CONCLUÍDO, EVITANDO SUA INFILTRAÇÃO NA MASSA DO RESÍDUO;



Monitoramento dos sistemas de drenagem de águas pluviais

Intercepta e desvia o escoamento superficial



Monitoramento dos sistemas de drenagem de águas pluviais

Intercepta e desvia o escoamento superficial



Aterro Sanitário do Saco do Funil - Guarujá, SP. Monitoramento geotécnico do maciço de resíduos recuperado.

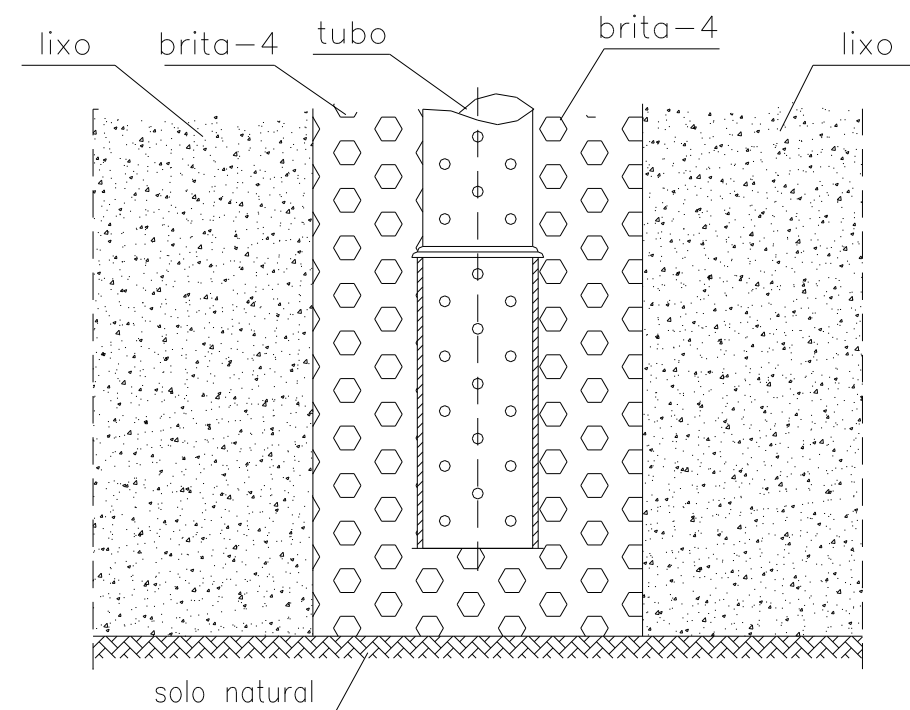


Monitoramento de gases

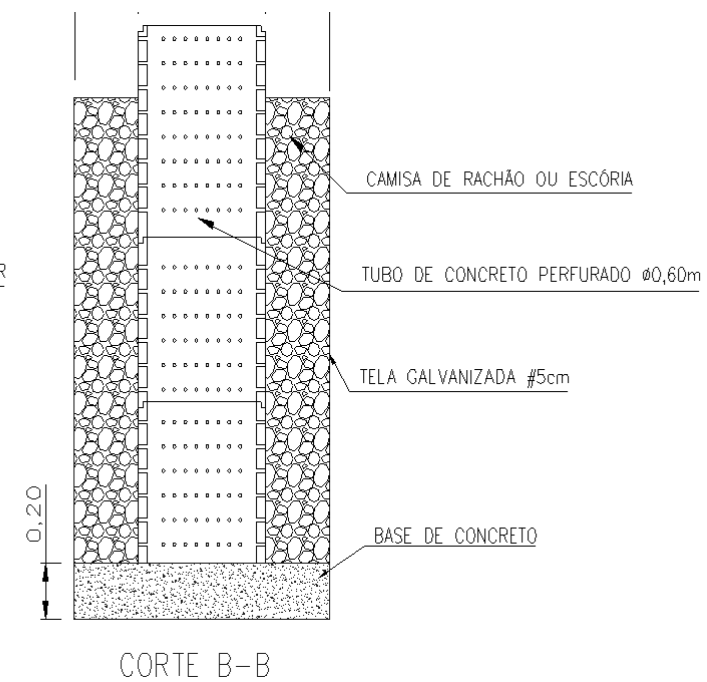
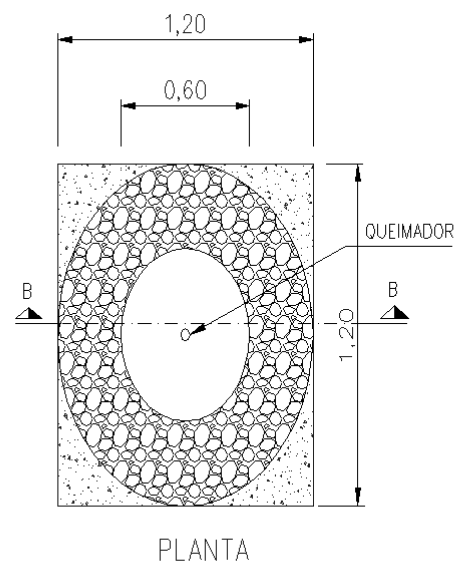
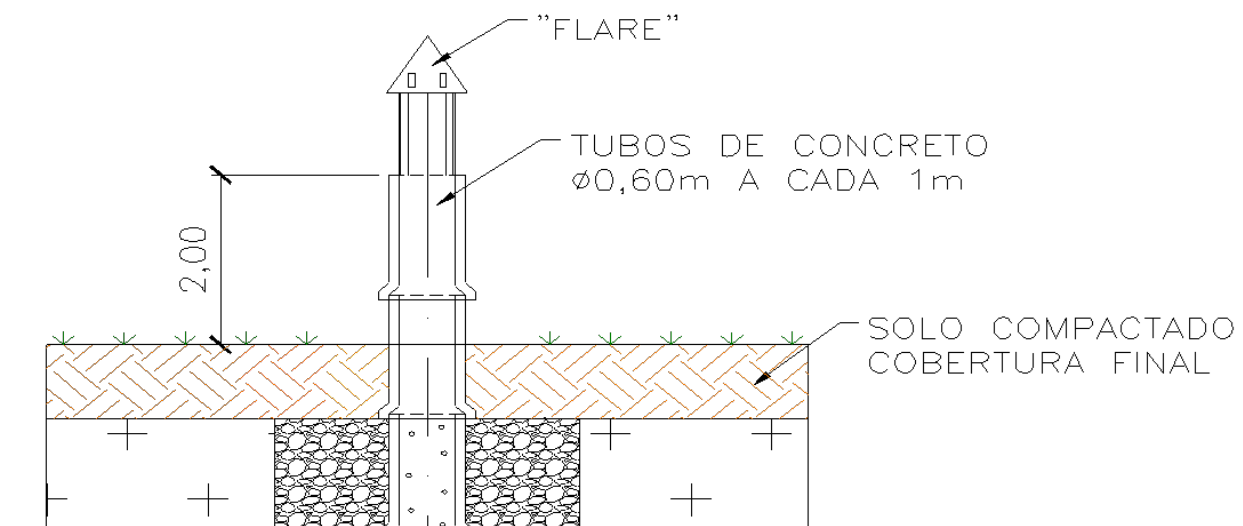
- Avaliar o processo de decomposição dos resíduos:
 - Ainda há atividade microbológica?
 - Por que essa informação é importante?

- Risco de explosão

- O monitoramento dos gases normalmente é feito de maneira qualitativa (medindo-se a composição estequiométrica).
- Caso os drenos sejam concebidos de forma a permitir a medição de vazão, esta deve ser realizada, visando quantificar a sua geração para possível reaproveitamento energético.

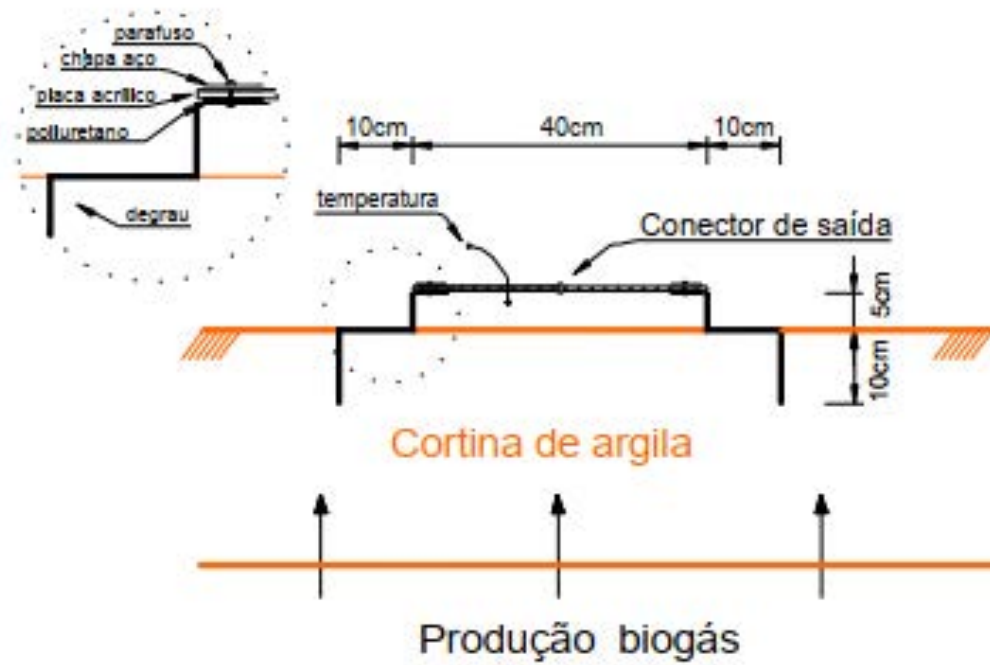


Monitoramento do sistema de drenagem de gases



Monitoramento do sistema de drenagem de gases

ENSAIO DE FLUXO DE PLACA



Monitoramento do Sistema de Impermeabilização Superior

Função:

- Minimizar a entrada de água no aterro;
- Reduzir a produção de lixiviado;
- Limitar a saída incontrolada de gases;
- Eliminar a proliferação de vetores;
- Limitar o potencial de incêndios;
- Proporcionar superfície apta para a vegetação.

Requisitos Básicos:

- Suportar variações climáticas;
- Resistência a erosão;
- Estabilidade e durabilidade;
- Resistência a deformações;
- Resistência a penetrações (animais, vegetais, etc).

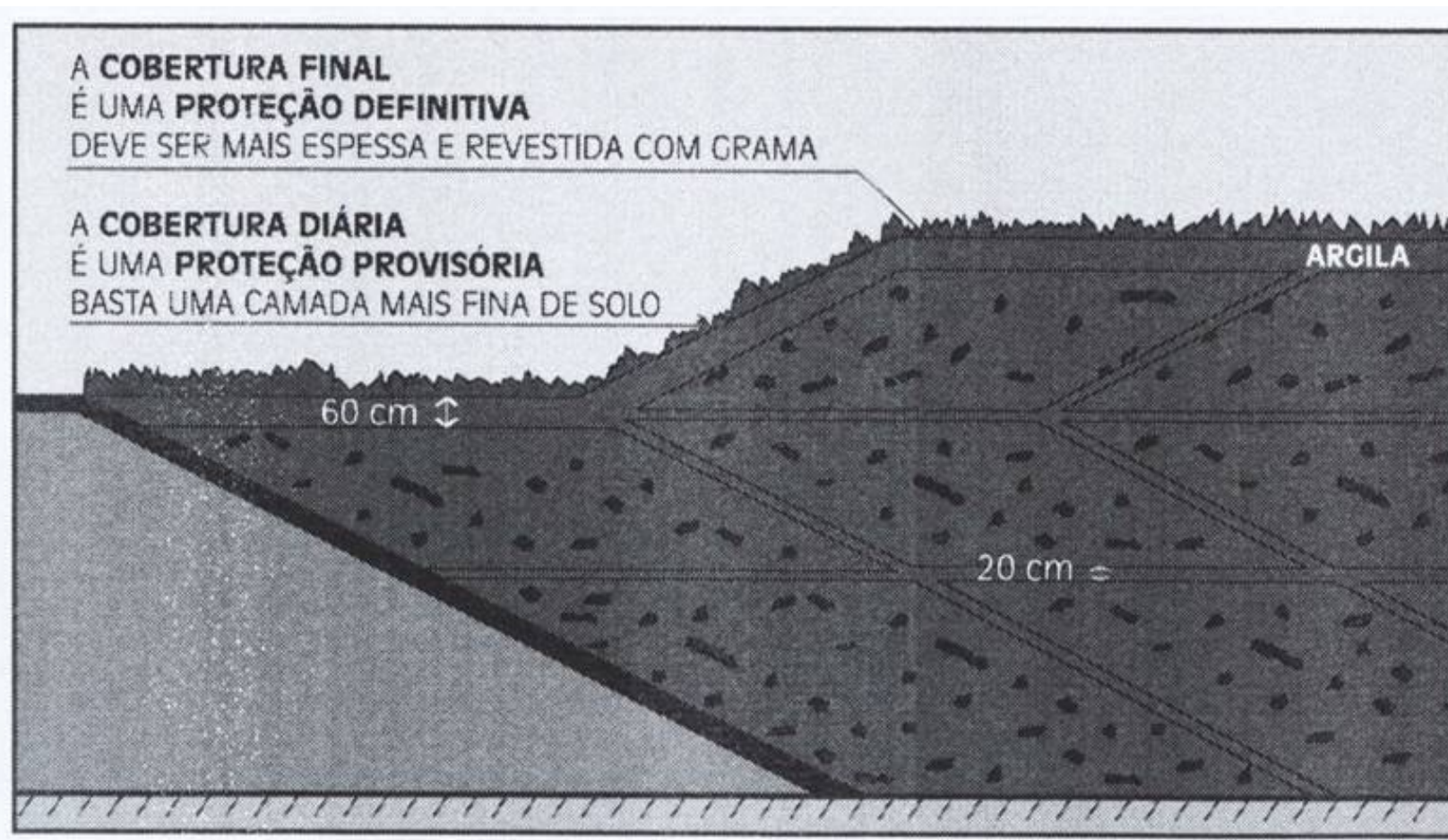


Monitoramento do Sistema de Impermeabilização Superior

COBERTURA INTERMEDIÁRIA

- Eliminar a presença de vetores;
- Limitar a infiltração superficial.

A maior quantidade de água que entra em um aterro e se converte em lixiviado, penetra durante a operação do mesmo e infiltra-se através da camada de cobertura intermediária!!





Sistema de drenagem de lixiviado

- Monitorar o **nível de líquidos** e as **pressões nos gases**;
- Fornecer elementos para a avaliação da **estabilidade** dos taludes do aterro, evitando acidentes como **desmoronamentos**.

VOLUME DE LIXIVIADO

- Regime pluviométrico da região;
- Características dos resíduos;
- Superfície do aterro de resíduos;
- Idade do aterro;
- Tipo de terreno.

SISTEMAS UTILIZADOS

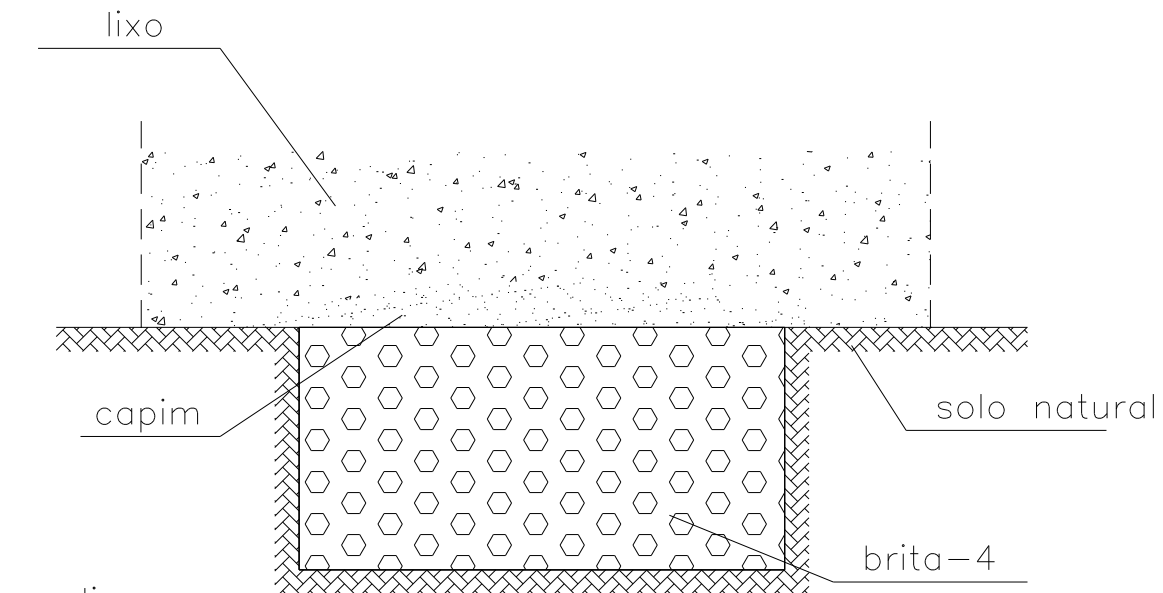
- Impermeabilização de fundo;
- Cobertura final;
- Cobertura intermediária;
- Controle de águas superficiais;
- Compactação dos resíduos e das camadas de cobertura.

Sistema de drenagem de lixiviado

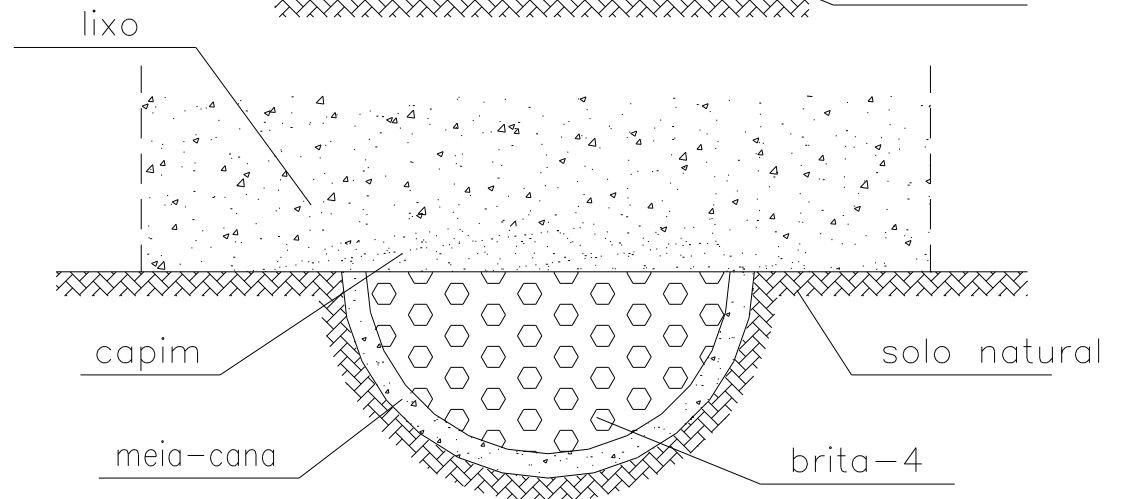
Indícios de problemas no sistema de drenagem:

- Alagamento de trincheiras ou lixiviado nos taludes
- Sistema de tratamento de lixiviado não está recebendo chorume.
- Inspeção visual
- Dimensionamento adequado dos drenos
- Declividade ou bombeamento adequados para drenagem.

canaletas simples



canaletas com meia-cana



Sistema de drenagem de lixiviado



Drenagem com o sistema “espinha de peixe”



Drenagem com o sistema colchão drenante

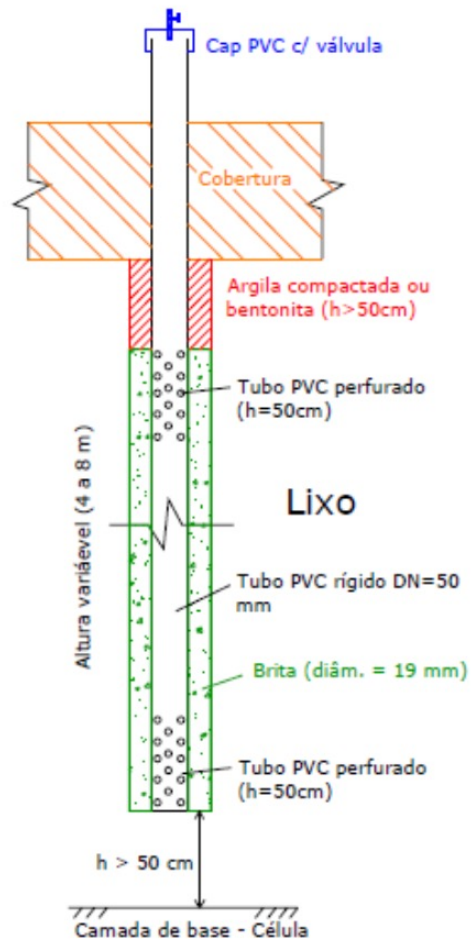


Sistema de drenagem de lixiviado

- Obter dados que permitam avaliar a segurança do maciço contra instabilidades e promover as ações que se mostrem necessárias;
- Permitir que sejam feitas previsões quanto a recalques futuros visando a avaliação da vida útil do aterro ou a utilização futura da área;
- Permitir o desenvolvimento da ciência fornecendo parâmetros para que se possa produzir procedimentos, normas técnicas, melhorar novos projetos e otimizar a operação dos aterros.

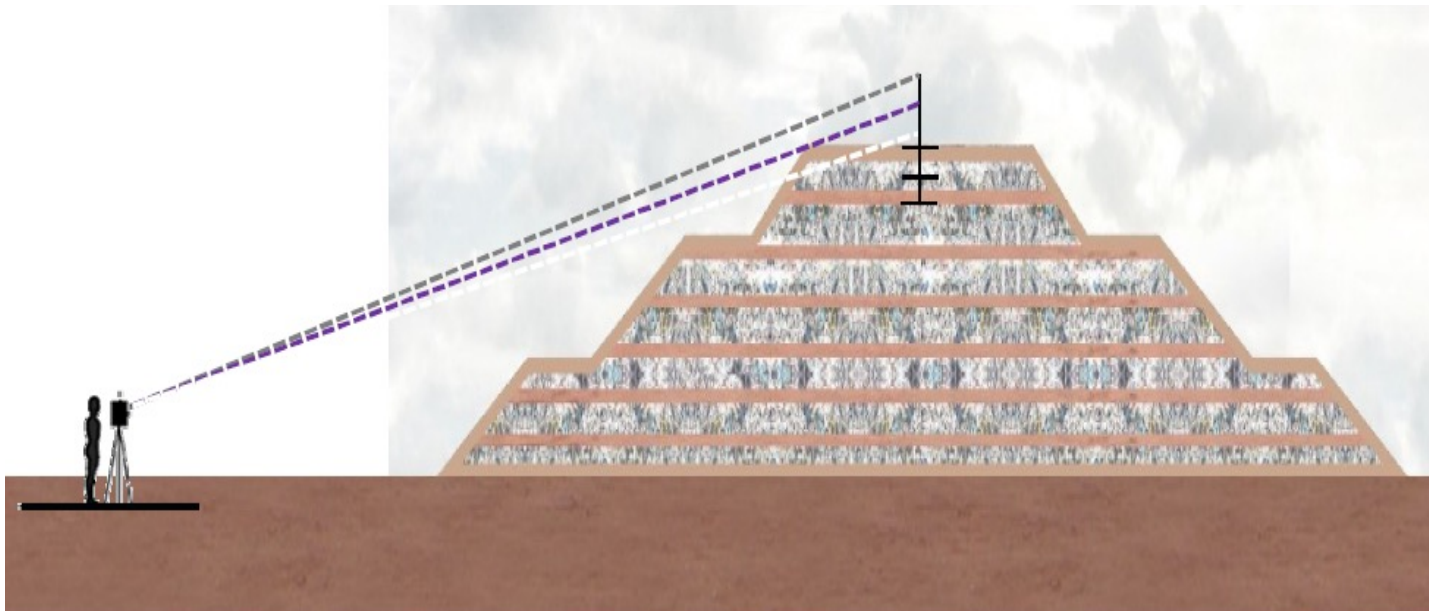
Sistema de drenagem de lixiviado

Controle de pressões neutras e níveis de percolado.



Recalques

- Monitorar os **deslocamentos** do aterro sanitário;
- Permitir uma avaliação contínua da vida útil do aterro e fornecer elementos para a avaliação da **estabilidade dos taludes** do aterro, evitando acidentes, como desmoronamento.

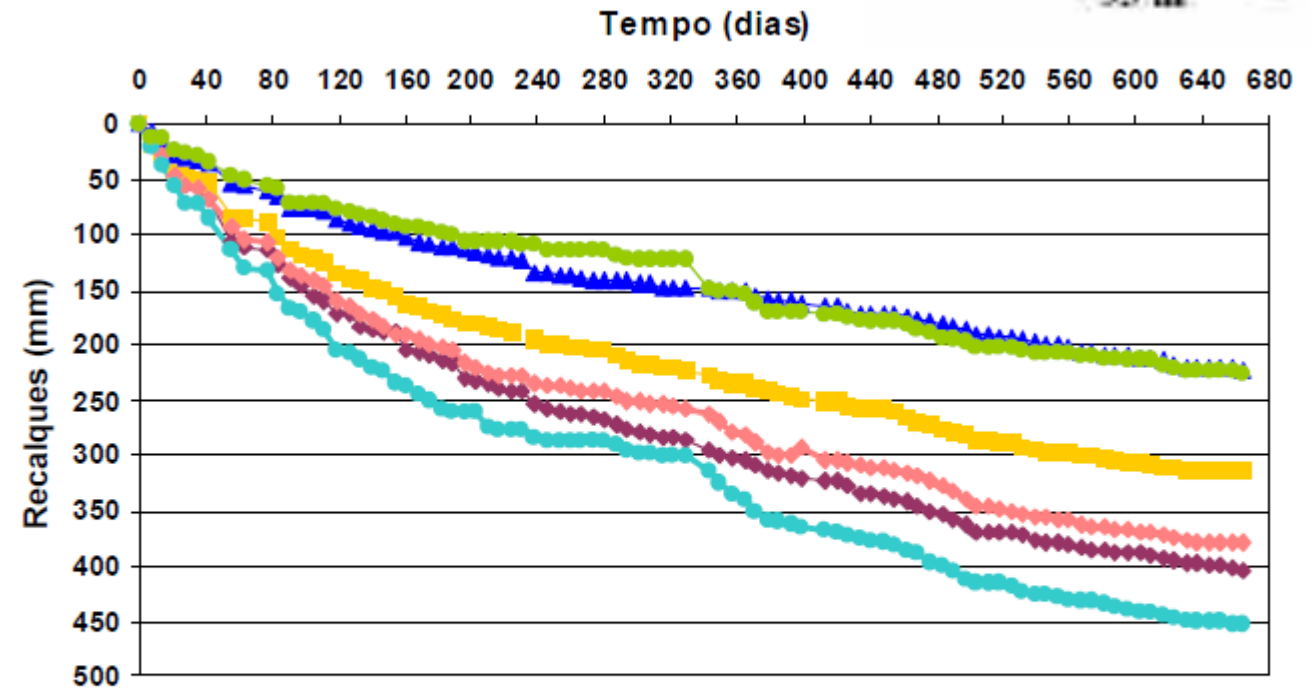
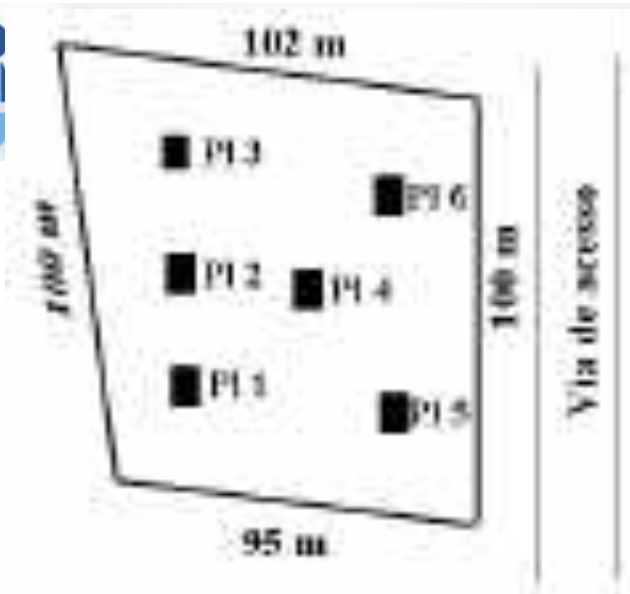


- Previsão da capacidade de armazenamento do aterro/vida útil/sobrealturas;
- Avaliação indireta do grau de atividade bacteriana/decomposição da matéria orgânica;
- Uso da área para outros fins.

Recalques Superficiais

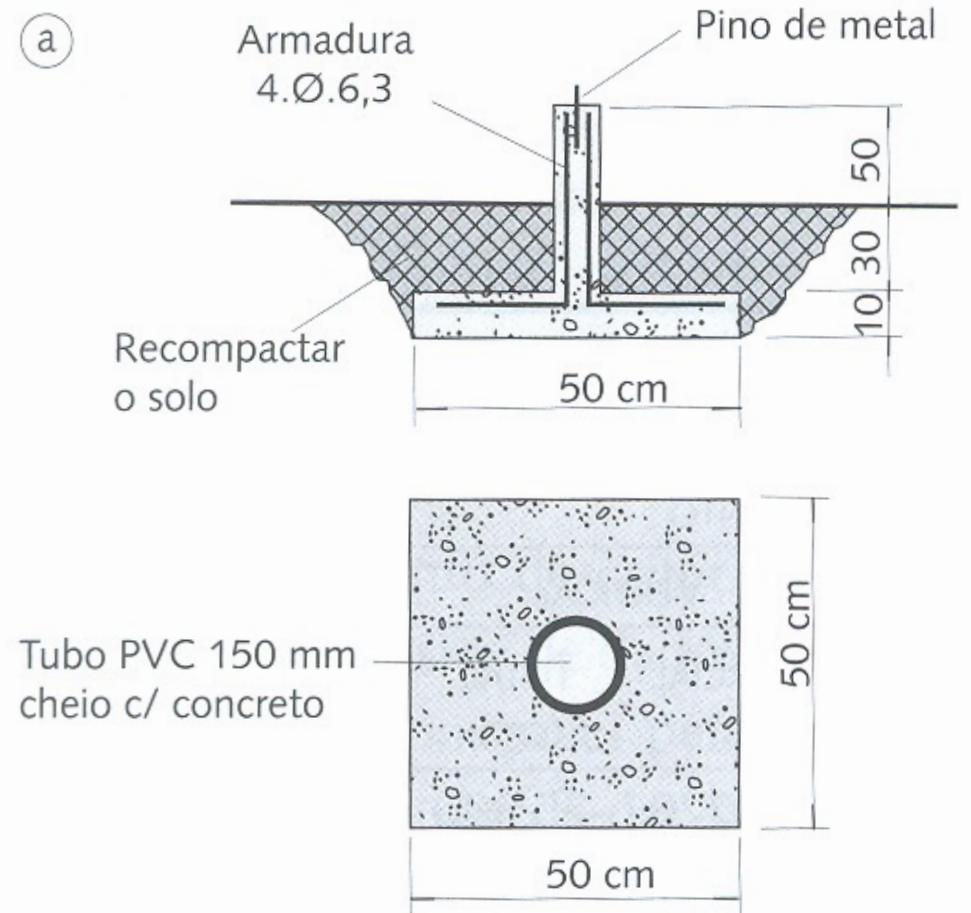
A magnitude dos recalques pode ser influenciada por diversos fatores, destacando-se:

- a densidade e índice de vazios inicial;
- grau de compactação;
- composição;
- idade;
- teor de matéria orgânica;
- altura dos resíduos;
- nível de chorume;
- sistema de drenagem de líquidos e gases;
- fatores ambientais.



Recalques

- Marco superficial: Elemento pré-moldado de **concreto** com um **pino de metal** engastado na face superior, instalado na superfície do aterro.



Deslocamentos Verticais e Horizontais

RECALQUE		
ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$20 < x \leq 40$ mm/dia	$40 < x \leq 100$ mm/dia	$x > 100$ mm/dia

DESLOCAMENTO HORIZONTAL		
ATENÇÃO	ALERTA	INTERVENÇÃO
$10 < x \leq 20$ mm/dia	$20 < x \leq 50$ mm/dia	$x > 50$ mm/dia

Figura 3 – Critérios gerais de ação para velocidades de deslocamento para aterros sanitários (KAIMOTO, 2008)

Estabilidade

Aterros mais altos o que pode gerar problemas quanto à sua estabilidade!!

A disposição inadequada, a falta de um bom sistema de drenagem, a ausência de monitoramento geotécnico constituem fatores que contribuem para ocorrência de possíveis acidentes em aterros sanitários!!





Estabilidade

Entre os **principais fatores** que influenciam a estabilidade de aterros sanitários destacam-se:

- Parâmetros geotécnicos dos resíduos;
- Geometria do aterro;
- Altura e inclinação dos taludes;
- Poropressões na base do aterro;
- Sistema hidrogeológico do local do aterro;
- Interface das forças de cisalhamento entre os materiais geossintéticos;
- Interface das forças de cisalhamento entre geossintéticos e solo; e
- Controle, operação e monitoramento do aterro.



Estabilidade

Aterro Sanitário Sítio São João -SP



Antes → 30/Jul/2007



Depois → 13/Ago/2007



Trincas e
Coesão das Fibras



Estabilidade

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
11682**

Segunda edição
21.08.2009

Válida a partir de
21.09.2009

Estabilidade de encostas

Slope stability

FS > 1,50 = estável

Tal valor é comumente adotado como critério de projeto, demonstrando desta forma que os taludes de resíduos sólidos, conforme concebido neste projeto, são estáveis, e encontram-se em conformidade com o exposto na Norma Técnica Brasileira NBR 11.682/2009 – Estabilidade de encostas (ABNT, 2009).

Estabilidade

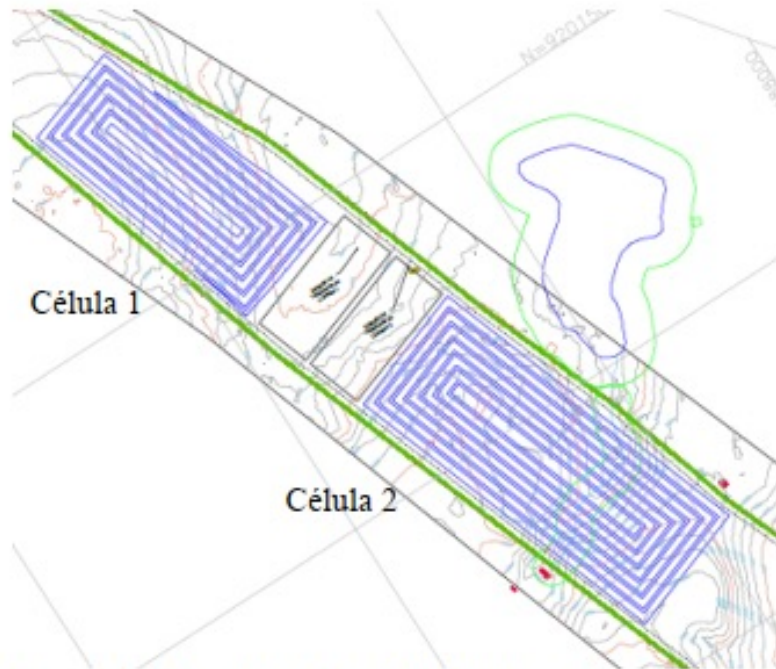


Figura 1. Disposição das Células 1 e 2 na superfície do terreno.

Tabela 1. Parâmetros utilizados nas análises de estabilidade dos taludes do aterro sanitário

Material	c (kPa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
Argila rija	40,00	25,00	19,00
Argila dura a muito dura	50,00	30,00	21,00
Resíduos novos	2,50	23,00	9,00
Resíduos velhos	3,50	28,00	12,00

Tabela 2. Cenário propostos para fins de avaliação da estabilidade dos taludes do aterro sanitário

Cenários	Espessura da camada de resíduos (m)		Nível piezométrico, relacionado à altura da célula (m)	
	Novo	Velho	1/3	2/3
1	05	-	X	
2	05	-		X
3	05	05	X	
4	05	05		X
5	10	05	X	
6	10	05		X
7	10	10	X	
8	10	10		X
9	10	15	X	
10	10	15		X
11	10	20	X	
12	10	20		X
13	-	30	X	
14	-	30		X

Estabilidade

Tabela 3. Fatores de Segurança mínimos ($FS_{\text{MÍN}}$) para as células do aterro sanitário

Cenários	Célula 1		Célula 2	
	$FS_{\text{MÍN}}$	Δ (%) ¹	$FS_{\text{MÍN}}$	Δ (%) ¹
1	2,05		1,51	
2	1,65	19,47	1,42	5,83
3	1,97		1,98	
4	1,80	8,53	1,57	20,51
5	1,97	17,53	1,85	15,80
6	1,63		1,56	
7	1,97		1,93	24,33
8	1,70	13,55	1,46	
9	2,03		1,87	
10	1,71	15,93	1,51	19,32
11	1,98	25,61	1,84	22,19
12	1,47		1,43	22,19
13	2,02	29,27	1,82	22,25
14	1,43		1,42	

¹variação do FS dos cenários com mesma espessura de resíduos e diferentes níveis de lixiviado.

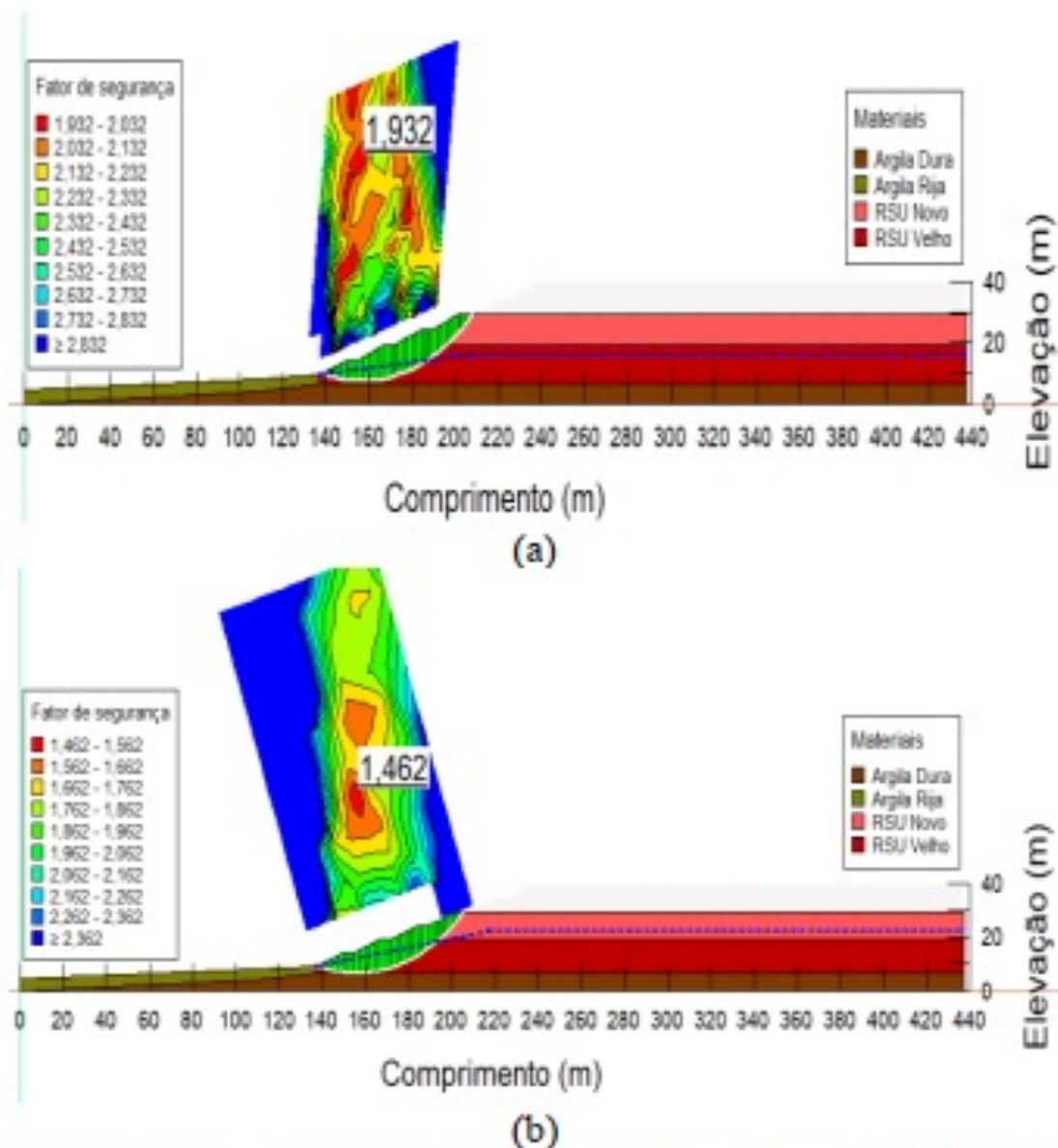
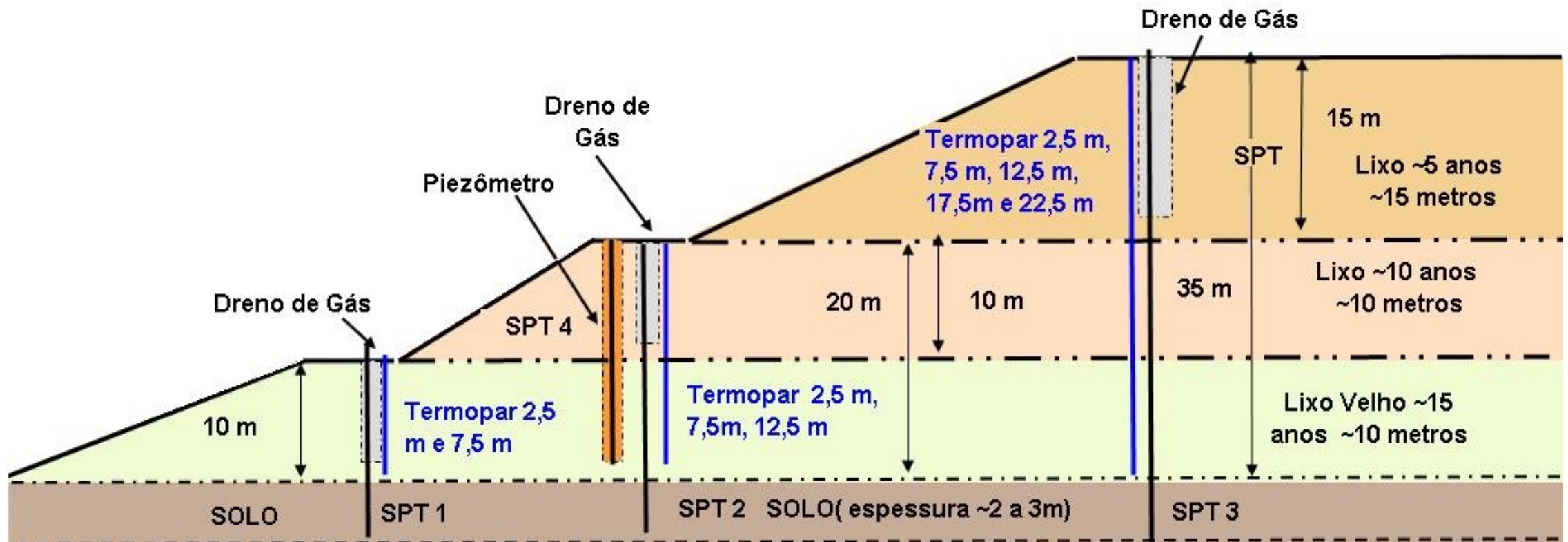
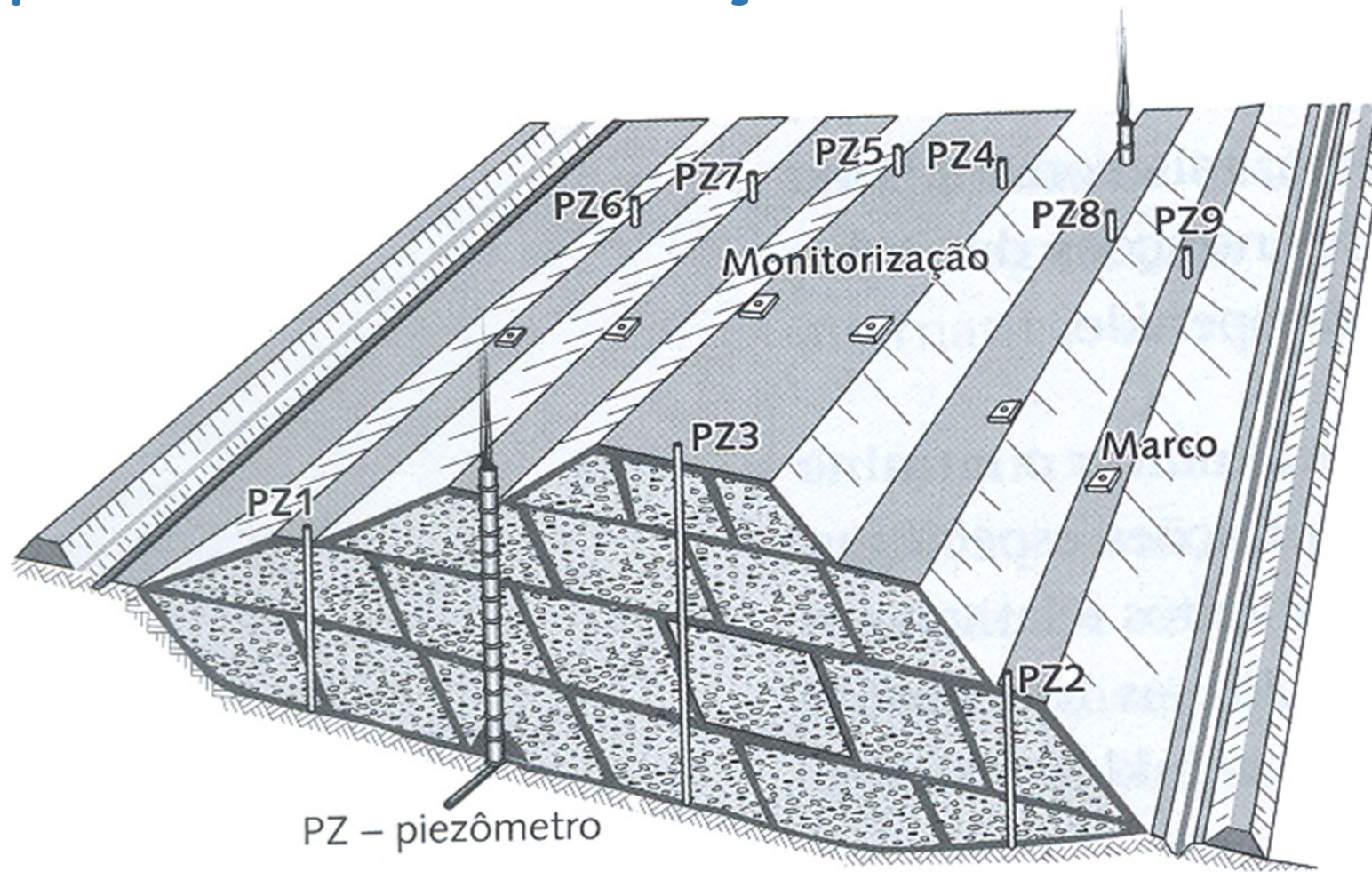


Figura 4. Superfícies de ruptura e $FS_{\text{MÍN}}$ para a Célula 2: (a) cenário 7; (b) cenário 8.

Exemplo de instrumentação de célula de aterro

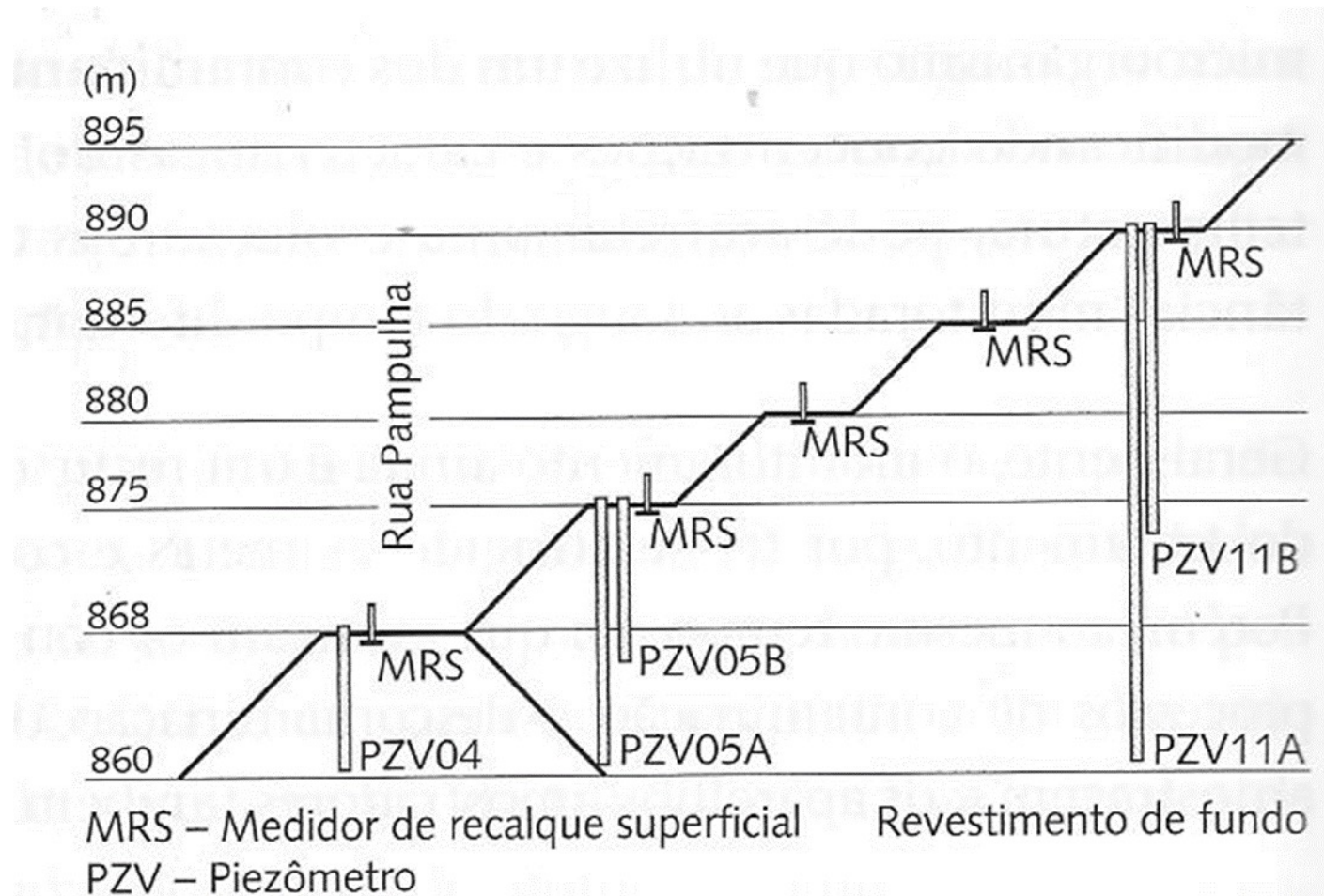


Exemplo de instrumentação de célula de aterro



FONTE: IPT (2000).

Exemplo de instrumentação de célula de aterro



FONTE: Simões et al. (2006).



“O inteligente resolve problemas, o sábio previne”

Albert Einstein

Contatos:

adjanedeoliveira@gmail.com

rafaella.moura@ufpe.br

