



Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Prof. Dr. Paulo S. Hemsí
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

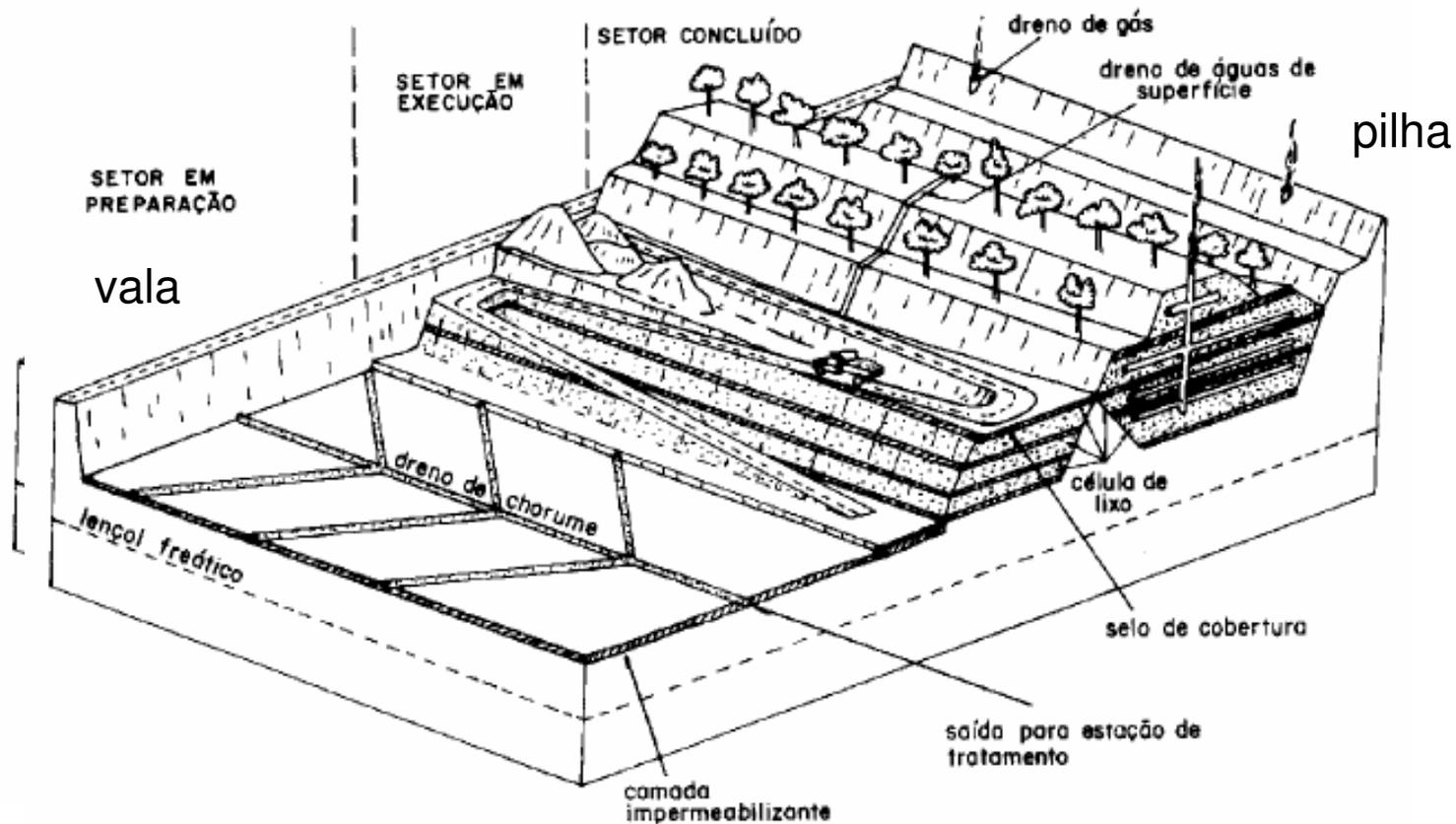
Ponta Grossa, 24 de Agosto de 2011

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Aterro de Resíduos

“Sistema de engenharia projetado, construído, operado e monitorado para o armazenamento seguro de resíduos sólidos por longo período de tempo. Após encerramento, pode ser reintegrado à paisagem, permitindo ainda aproveitamento energético da massa de resíduos”

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

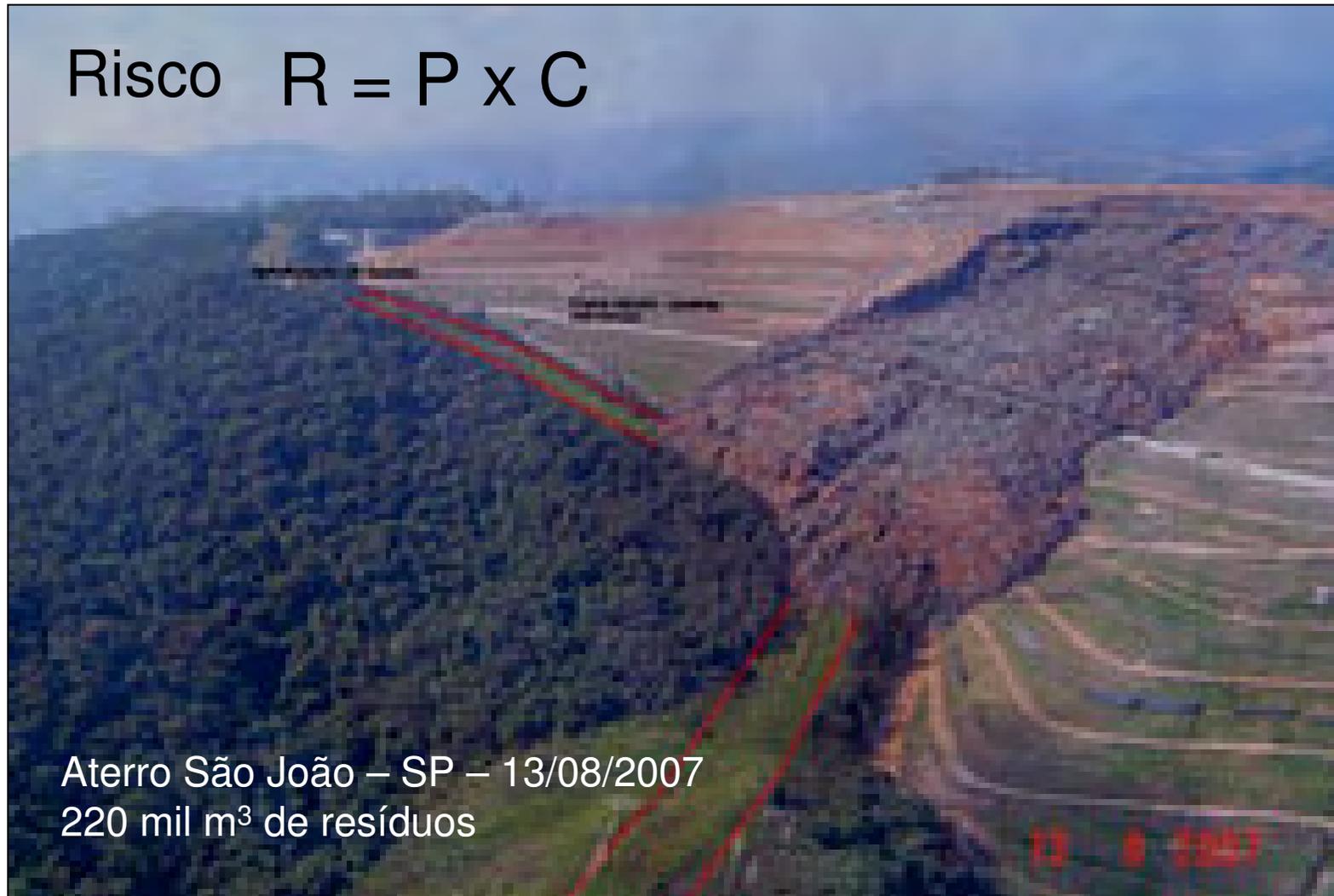


Aterro Sanitário – Resíduos não Perigosos RSU (Classe II, NBR-10.004)

IPT (2000)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Risco $R = P \times C$



Aterro São João – SP – 13/08/2007
220 mil m³ de resíduos

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

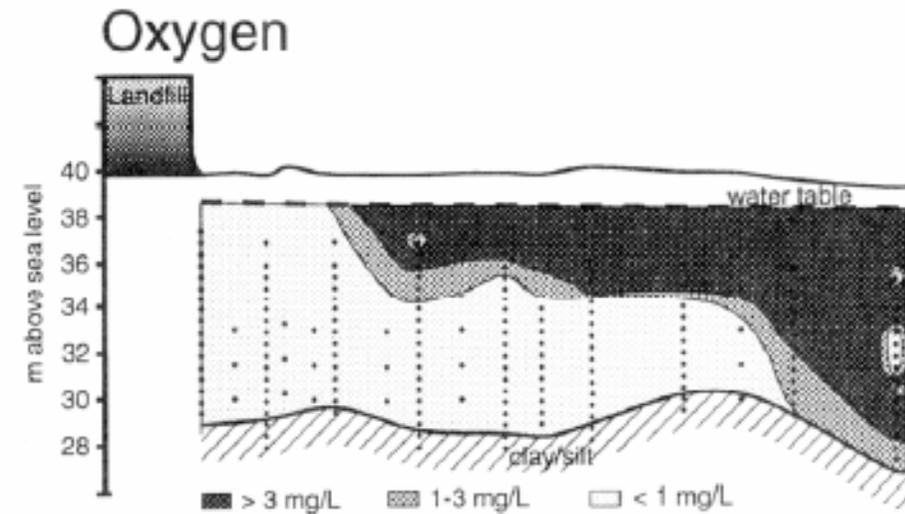
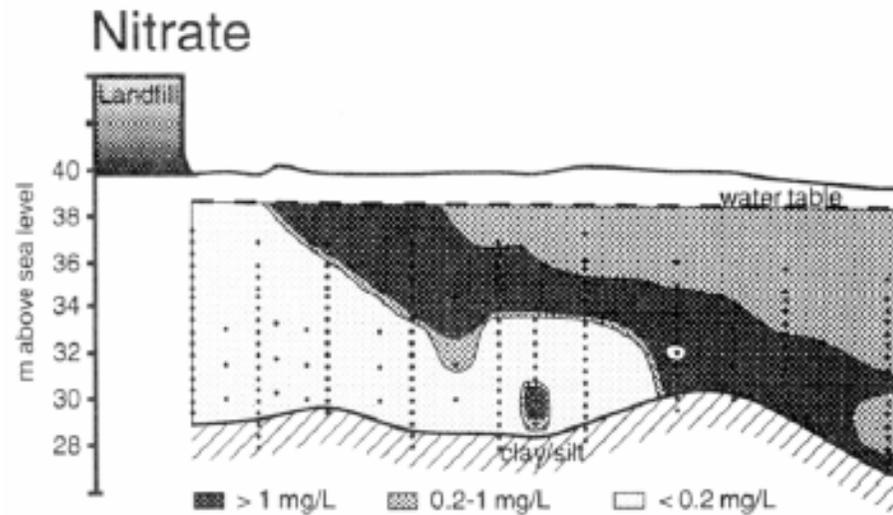


Aterro Bandung – Indonésia – 21/02/2005
2.7 milhões m³ de resíduos – 147 fatalidades

Koelsch et al. (2005)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Falha do Revestimento de Fundo



Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



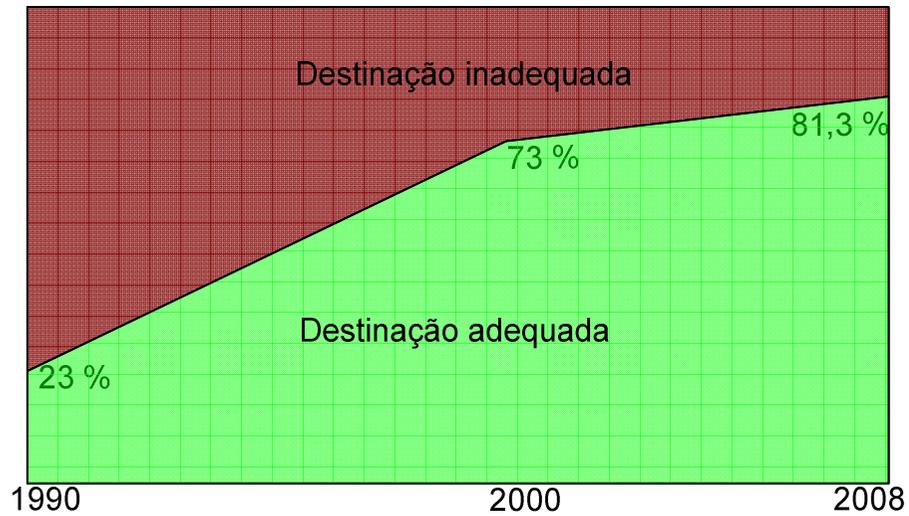
Aterro Bandeirantes (Perus, SP)
1979 - março 2007 (Desativado)
~ 7 mil t/d → Aterro Classe II –
particular (Essencis, em Caieiras-SP)



Aterro São João (São Mateus, SP)
1992 – outubro 2009 (Desativado)
~ 7 mil t/d → CDR Pedreira –
particular (Estre, em Tremembé-SP)

> 175.000 MW/h/aterro (abastecer 800.000 pessoas)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) - IBGE (2010)



Lixão de Marambaia
(Nova Iguaçu, RJ, 2001)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Destinação final ambientalmente adequada, com expansão dos serviços a toda a população

a) Remediação dos lixões

b) Transformação do lixão em Aterro Sanitário

c) Projeto de Aterros Sanitários em áreas novas

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Aterros de grandes dimensões – características de referência

- Capacidade volumétrica do aterro superior a 10.000.000 m³
- Altura final do aterro superior a 25 m podendo chegar a cerca de 100 m
- Taxa de disposição de resíduos superior a 1.000 ton/dia
- Atendimento a centros urbanos com população superior a 1.000.000 de pessoas
- Vida útil do aterro da ordem de 20 anos

Bernardes e Ferrari (2004)

- **Dificuldade crescente com relação a áreas disponíveis**

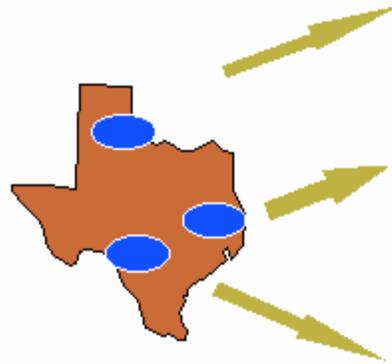
Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

DADOS NECESSÁRIOS	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	Recomendada	Recomendada com restrições	Não-Recomendada
Vida Útil	> 10 anos	(10 anos, a critério do órgão ambiental)	
Distância do Centro Atendido	> 10 km	10-20 km	> 20 km
Zoneamento Ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambiental (APPs, mananciais, topo de morro)
Zoneamento Urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo (odores, animais congestionamento de vias)
Densidade Populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e Ocupação das Terras	Áreas de pouca utilização		Ocupação intensa
Valorização da Terra	Baixa	Média	Alta
Distancia de núcleos populacionais	> 500 m	< 500 m, com aprovação do órgão ambiental responsável	
Topografia- declividade do terreno	Entre 1 e 30 %	> 30 %, a critério do órgão ambiental responsável	
Distância aos cursos d'água (córregos, nascentes, etc.)	> 200 m	< 200 m, com aprovação do órgão ambiental responsável	

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

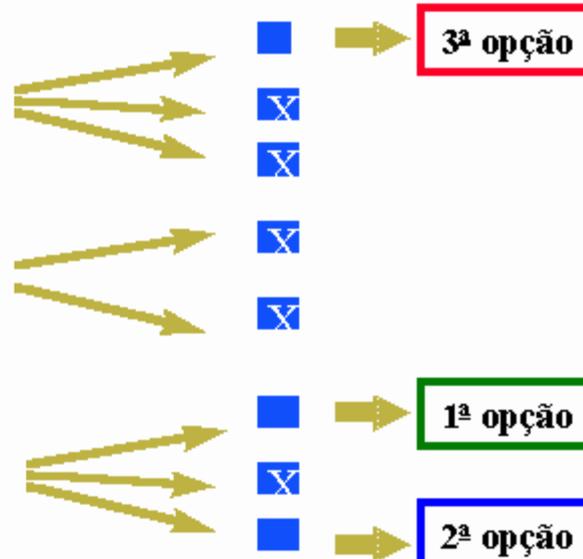
Seleção de Local para Instalação de Aterro Sanitário

Reis (2001)



IDENTIFICAÇÃO DE
ÁREAS POTENCIAIS

Etapa 1



LOCAIS PREFERENCIAIS

Etapa 2

1ª opção

2ª opção

LEVANTAMENTOS DE
DETALHE

EIA/RIMA

Localização: demandas, distâncias

Infra-Estrutura: acessos, energia, etc.

Geologia-Geotecnia: estratigrafias, permeabilidades, capacidade de suporte, etc.

Topografia: declividades, geomorfologia

Hidrogeologia: profundidade do NA, fluxo subterrâneo, águas superficiais, drenagem

Uso e Ocupação nos

Entornos: afastamentos mínimos exigidos (núcleos pop., corpos d'água, APPs, etc.)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Aspectos de Projeto

- **Proteção do solo e dos recursos hídricos**
- Prevenção e eliminação de odores
- Controle de impactos visuais e sonoros
- Prevenção de dispersão de resíduos leves
- Gerenciamento do biogás
- Gerenciamento de percolado
- Controle da proliferação de vetores de doenças
- Encerramento com integração paisagística
- Monitoramento ambiental e geotécnico contínuo

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Proteção do solo e dos recursos hídricos

- Avaliação geológica, hidrogeológica e geotécnica detalhada
- Projeto de escavação - Balanço corte/aterro
- Maximizar utilização do solo local/minimizar envio de solo para bota-fora
- Outras - Drenagem de nascente / Remoção de solo mole, etc.
- **Análises de Estabilidade**
- **Projeto dos sistemas de proteção ambiental: impermeabilização da base e dos taludes, coleta e drenagem de líquidos percolados**

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Análises de Estabilidade Detalhadas

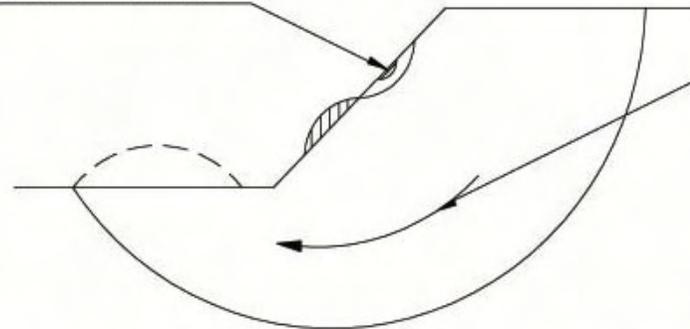
Incertezas:

- Pressões neutras de gás e percolado
- Parâmetros geotécnicos (resíduos/solos/ interfaces envolvendo geossintéticos)
- Revestimento de fundo e laterais (taludes) - materiais e parâmetros

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Ruptura Rasa / Talude Infinito

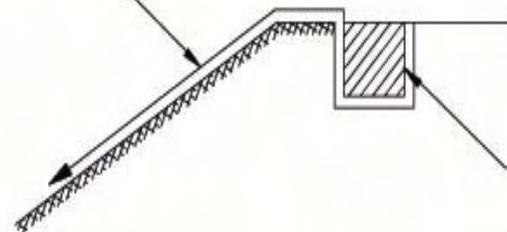
Ruptura Circular



A) Ruptura nos Taludes e Fundação de Base

Solo Escavado

Sistema de Impermeabilização

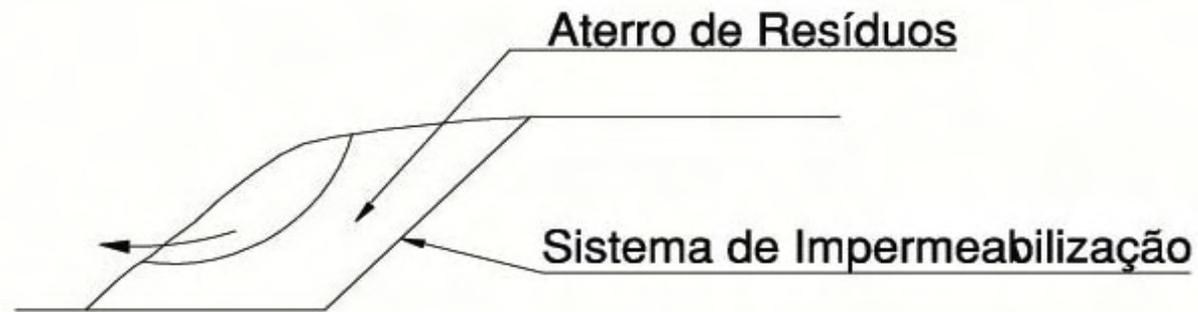


Trincheira de Ancoragem

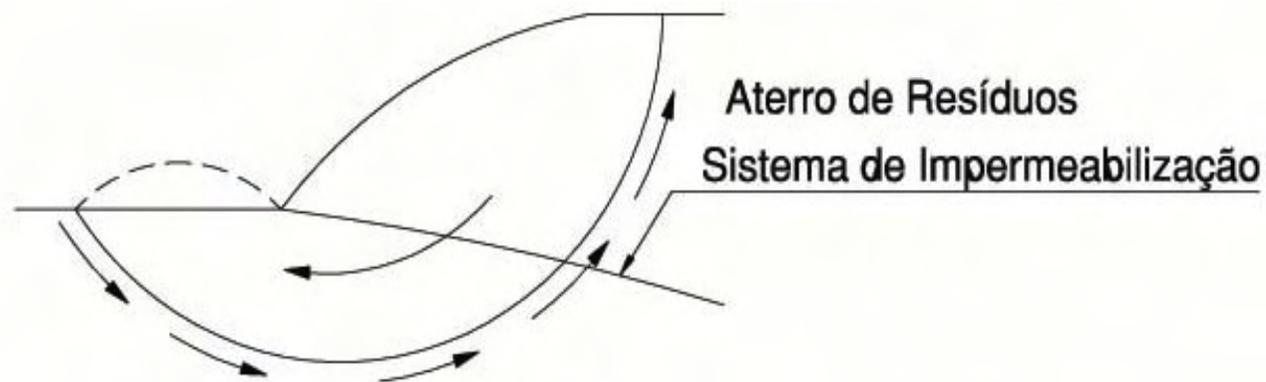
B) Escorregamento do Sistema de
Impermeabilização da Trincheira de Ancoragem

Bernardes e Ferrari (2004)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



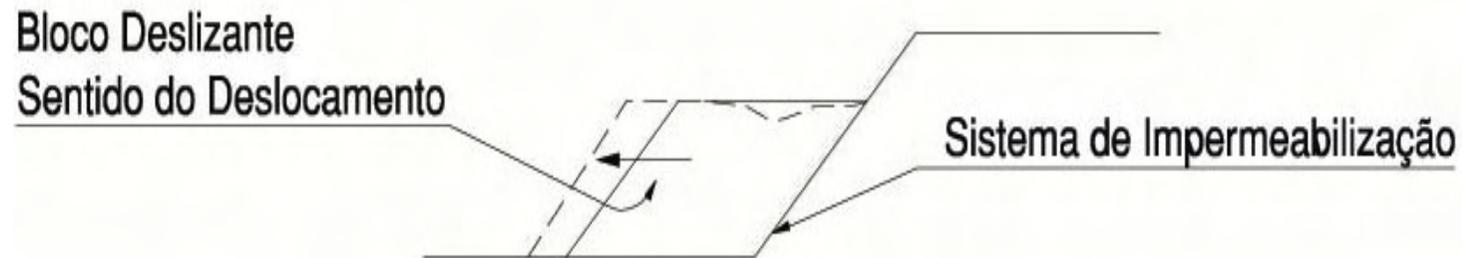
C) Ruptura da Massa de Resíduos



D) Ruptura Global

(Resíduo, Impermeabilizações e Solo de Fundação)

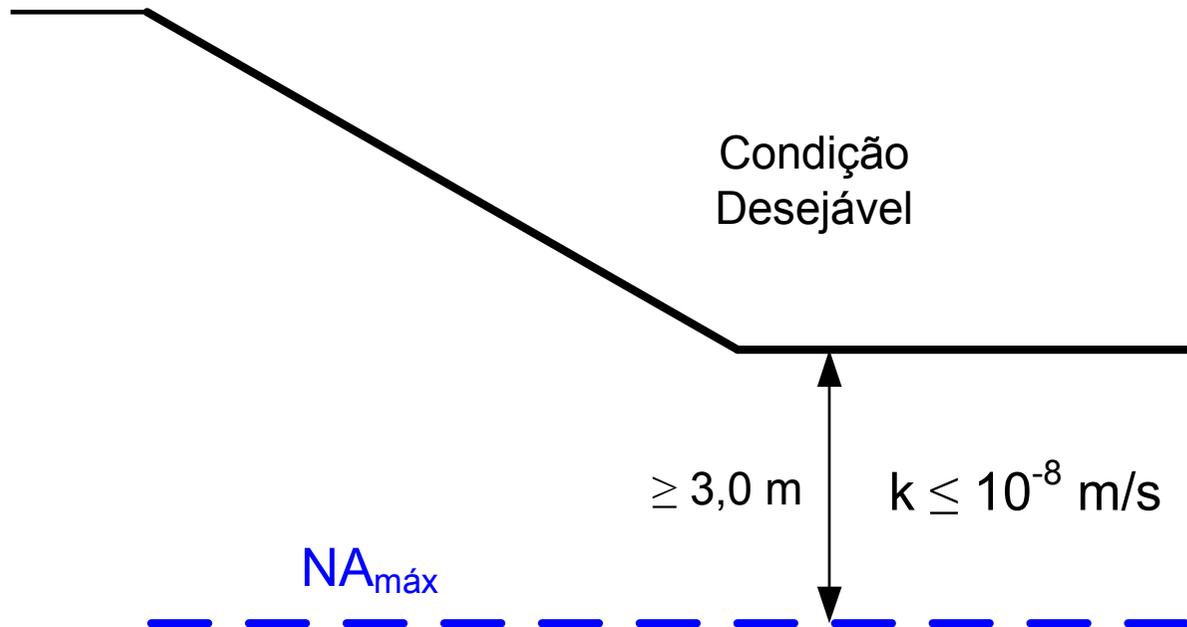
Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



E) Ruptura por Blocos Deslizantes ao Longo do Sistema de Impermeabilização

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

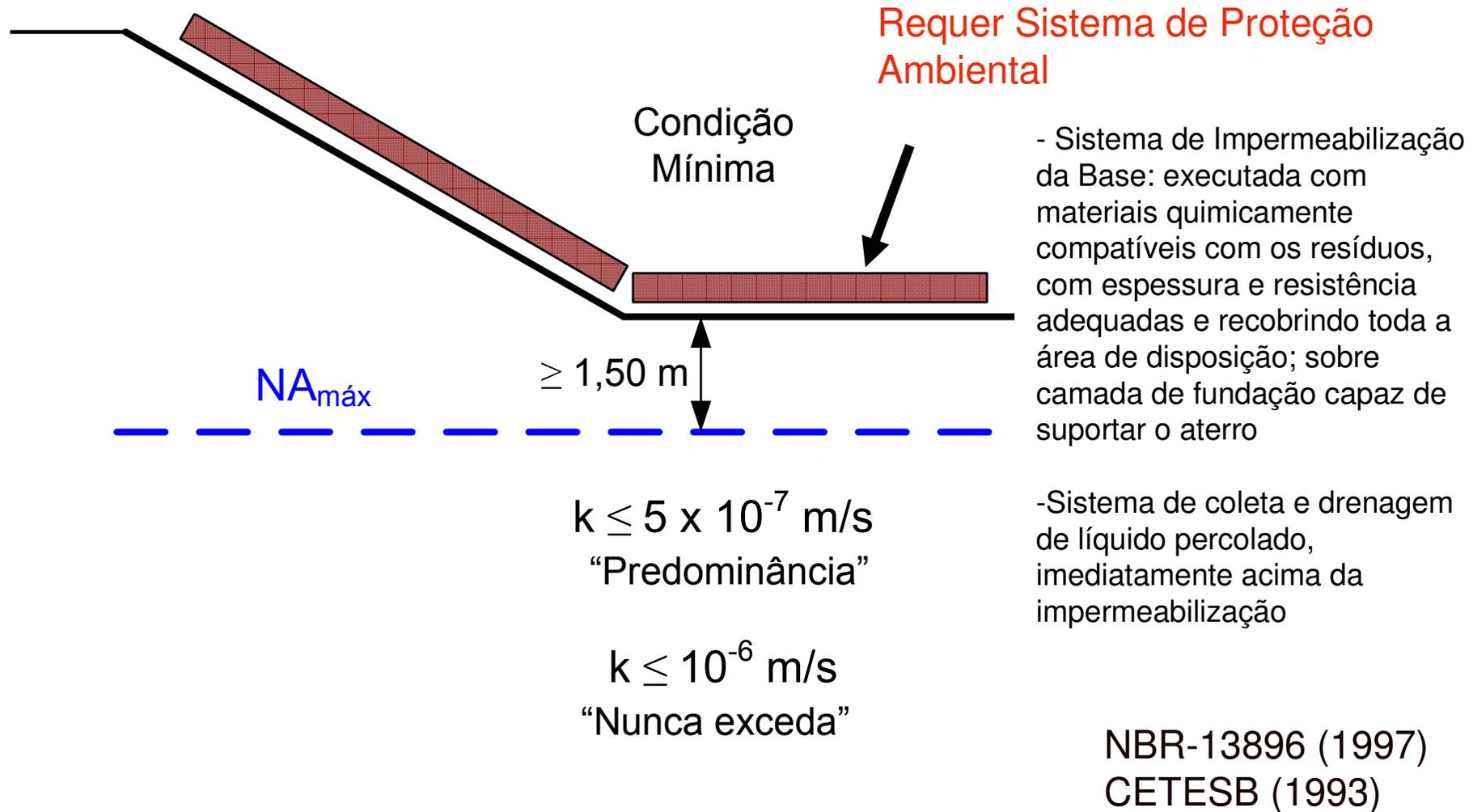
Impermeabilização da Base



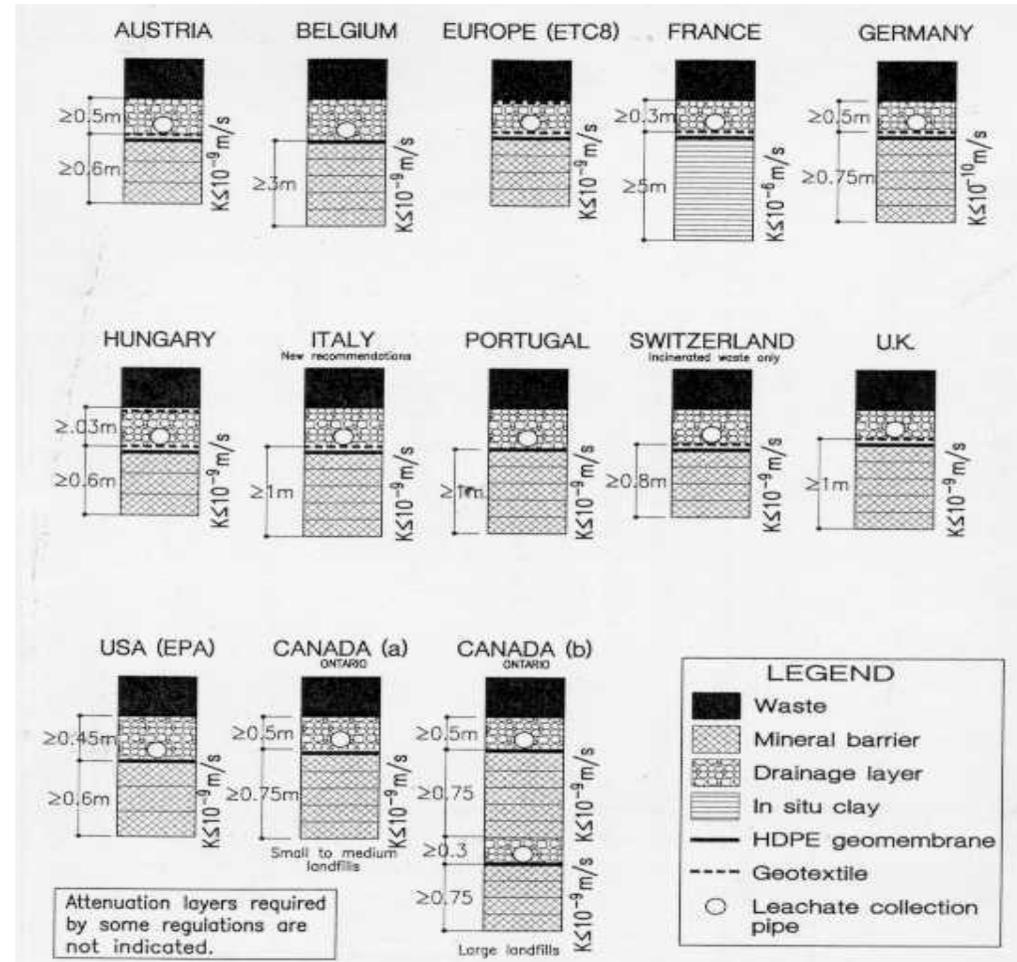
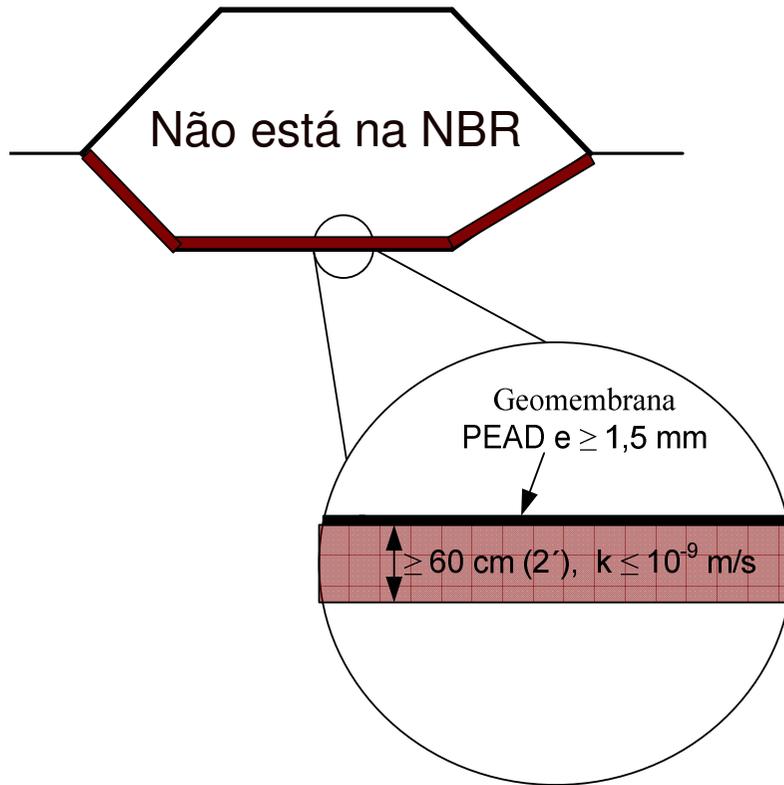
“Depósito natural, extenso e homogêneo”

NBR-13896 (1997)
CETESB (1993)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



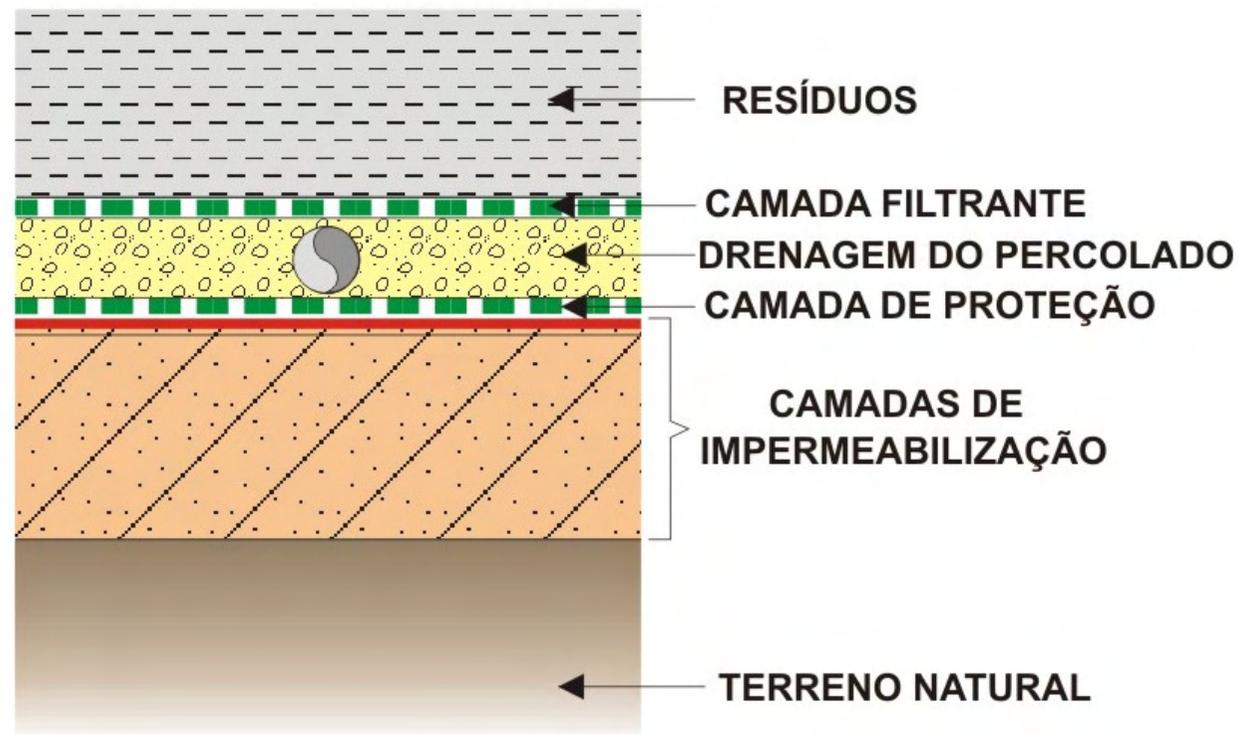
Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



enfoque prescritivo (Manassero et al 1996)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

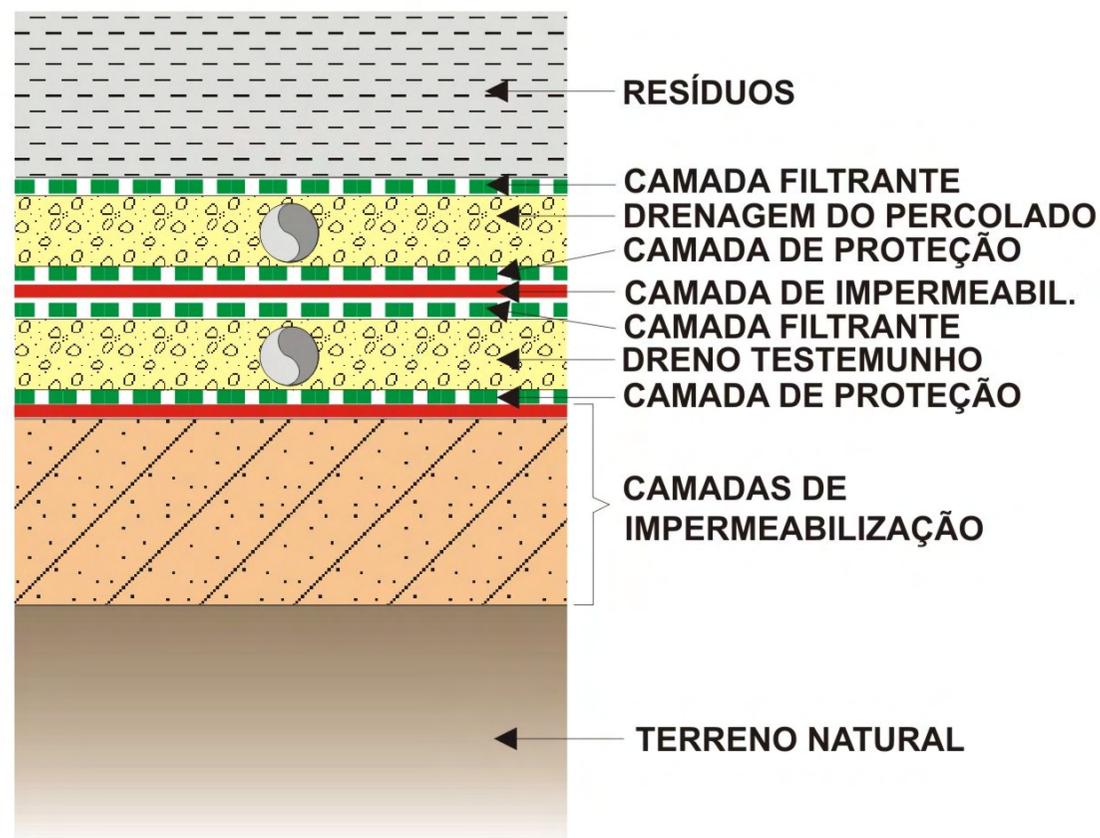
Revestimento simples composto
Base de aterros sanitário RSU – Classe II



Impermeabilização e drenagem de base

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Revestimento duplo composto Base de aterros industriais perigosos – Classe I



Impermeabilização e drenagem de base

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

MODOS DE FALHA - CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	
ORIGEM	CAUSAS
Impermeabilização de Base (Aterro/Lagoa de Tratamento de Chorume)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de impermeabilização deficiente/ incompatível com contaminantes • Falha de controle da execução
Elevação do Nível d'Água na Base do Aterro	<ul style="list-style-type: none"> • Dados hidrogeológicos errados ou insuficientes • Projeto inadequado da cota de base do aterro
Recalques (Aterro/Lagoa de Tratamento de Chorume)	<ul style="list-style-type: none"> • Solo de fundação inadequado • Obras de tratamento/remoção mal executadas
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Taludes (solos/resíduos) instáveis • Má caracterização geotécnica dos materiais • Má compactação (solo/resíduos) • Efeito das pressões de líquido e gás
Assoreamento	<ul style="list-style-type: none"> • Erosão de solos expostos (p.ex., saprolíticos) • Carreamento de partículas em sistemas de drenagem deficiente (critérios de filtro) • Supressão da vegetação

Modificado de Cunha e Consoni (1995) e Reis (2001)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Revestimento de Base
em Aterro Sanitário



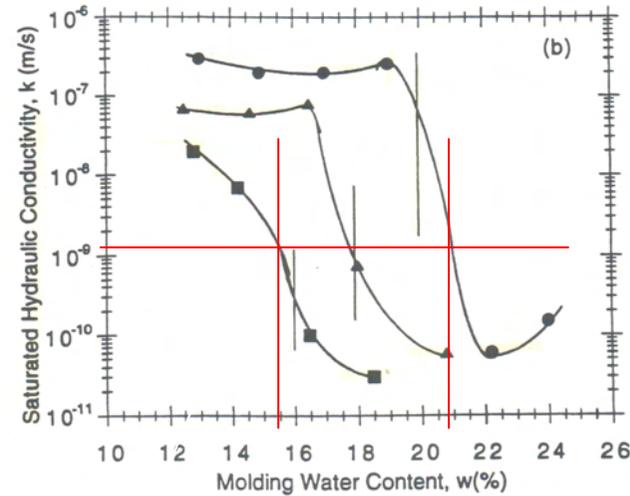
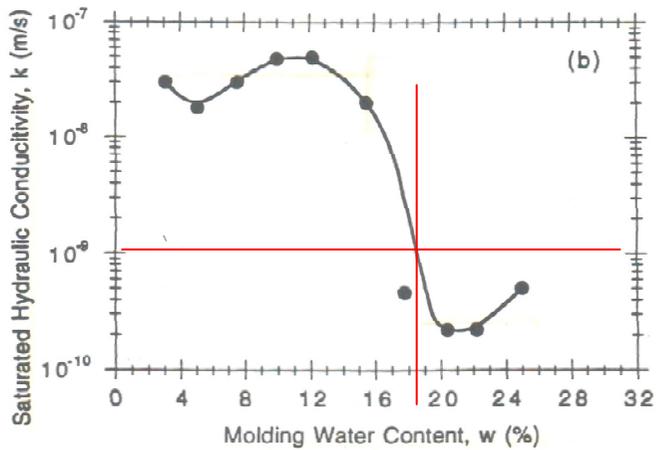
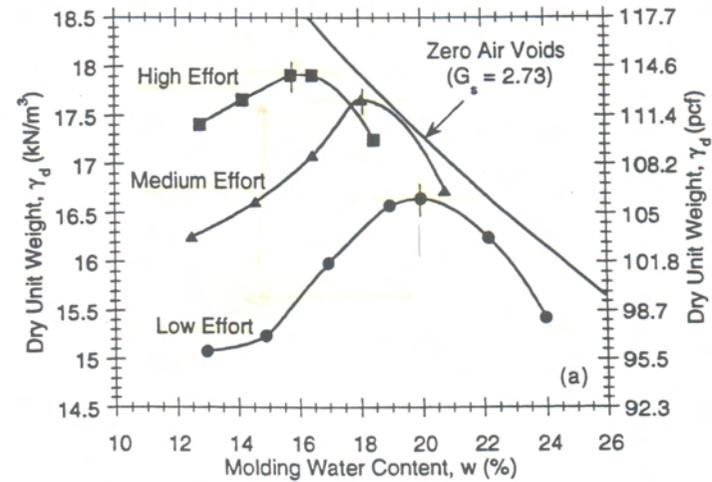
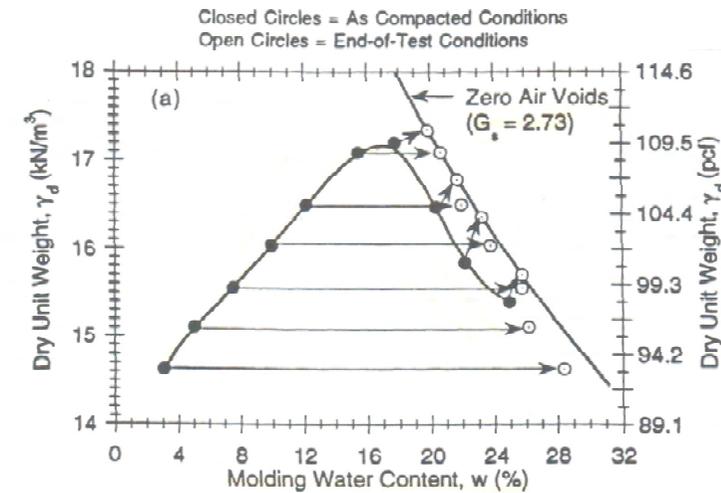
CTR Nova Iguaçu, RJ
Nova Gerar
Antigo lixão de Marambaia

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Revestimento de Base
em Aterro Sanitário

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Solo argiloso, ramo úmido

Lambe (1958)
Shackelford (2000)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Mistura de solo local (por exemplo, silte) com Bentonita



CTR Caieiras, SP
Essencis

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Mistura de solo local (por exemplo, silte) com Bentonita

CTR Caieiras, SP
Essencis

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Geocomposto Bentonítico
utilizado nos taludes laterais



CTR Caieiras, SP
Essencis

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Revestimento dos Taludes
Camada de Geocomposto Bentonítico



CTR Caieiras, SP
Essencis



CTR Betim, MG
Essencis

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Revestimento de Base
em Aterro Sanitário

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



Bacias de percolado
CTR/Caieiras



Estação de tratamento
de líquido percolado -
Classe II

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Monitoramento da Operação e Pós-Encerramento

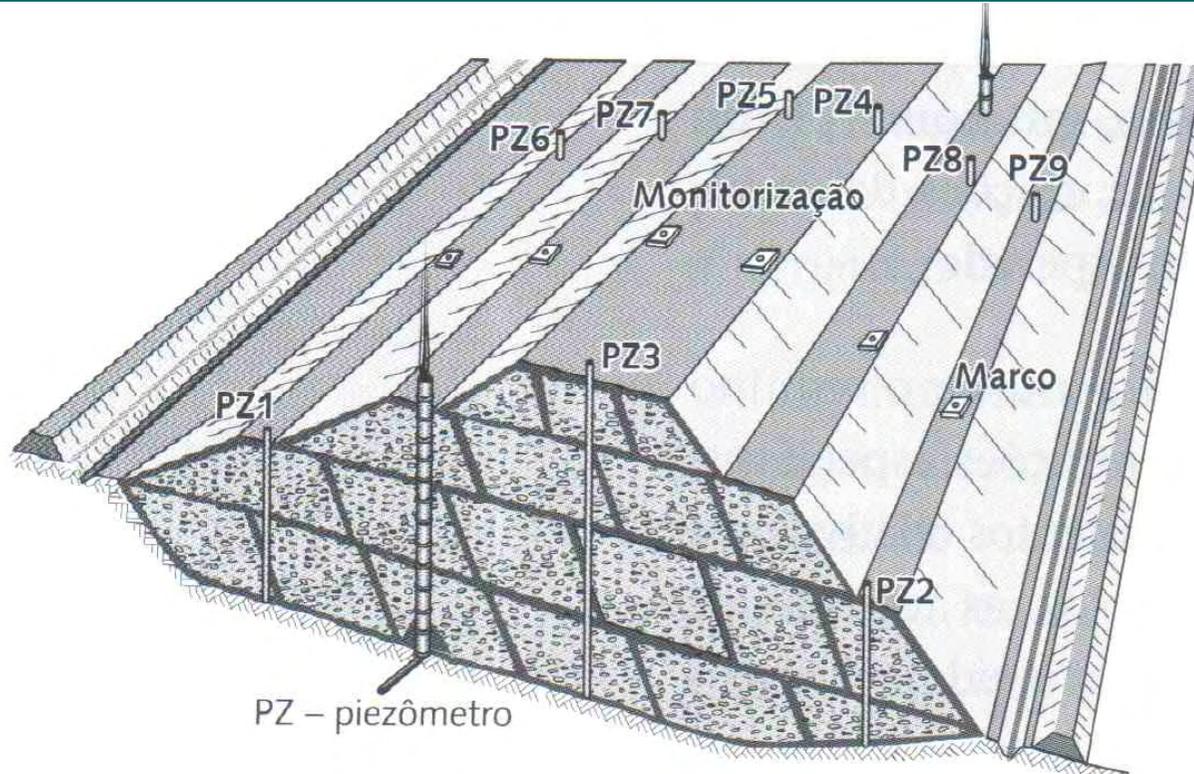
- a) Monitoramento Geotécnico
- b) Monitoramento Ambiental

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Monitoramento da Operação e Pós-Encerramento

- Recalques da massa e da cobertura do aterro
- Deslocamentos horizontais em profundidade nos taludes
- Carga hidráulica de chorume no sistema de coleta de base
- Pressão de líquido no interior da massa de resíduos
- Pressão de gases no interior da massa de resíduos
- Volume gerado de percolado / volume no sistema de detecção de vazamentos

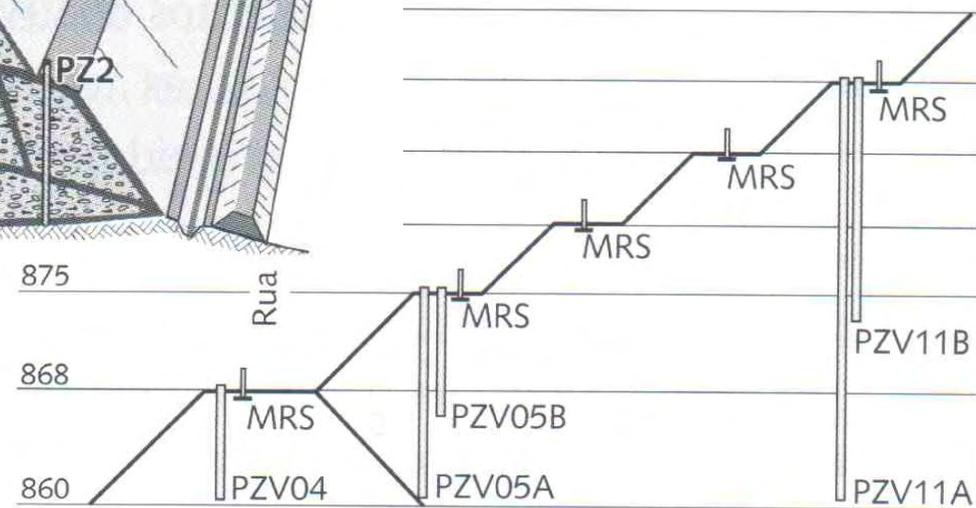
Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos



MS, PR
 INC
 INA, PZ
 Q

IPT (2000)

Instrumentação de campo



MRS – Medidor de recalque superficial
 PZV – Piezômetro

Revestimento de fundo

Simões et al. (2006)

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Monitoramento da Operação e Pós-Encerramento

- Qualidade das águas subterrâneas e superficiais nos entornos do aterro (DBO, SDT, pH, íons, metais, orgânicos: COV)
- Qualidade gases do solo nos entornos do aterro
- Qualidade do ar, níveis de ruído nos entornos do aterro
- Pluviometria

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Conclusões

- Disposição final de resíduos em aterros sanitários deverá ser superada. Porém até lá, o projeto, construção, operação e monitoramento seguros de aterros sanitários serão necessários;
- Prevenção no projeto de aterros de resíduos envolve identificação dos principais mecanismos de falha nos sistemas, e minimização da probabilidade de ocorrência de cada um destes mecanismos;

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Conclusões

- Foi dada ênfase à estabilidade e ao sistema de impermeabilização da base do aterro; porém, diversos outros componentes devem ser cuidadosamente estudados (operação e compactação, drenagem de percolado, drenagem de gases, cobertura diária, cobertura final, etc.);
- Aproveitamento energético do metano e negociação de créditos de carbono são temas relevantes do empreendimento de aterros sanitários

Prevenção no Projeto de Aterros de Resíduos

Obrigado

paulosh@ita.br