

PEF-3409 Geotecnia e Recuperação Ambiental
EPUSP

ATERROS DE RESÍDUOS

Maria Eugenia Gimenez Boscov

Disposição de resíduos

- A deposição sobre o terreno natural ainda é o destino usual dos resíduos em todo o mundo.

Disposição de resíduos

- A disposição é estreitamente relacionada à gestão dos resíduos (classificação, legislação etc.)
- Política Nacional dos Resíduos Sólidos

Lei Federal nº 12.305/2010:

- ❖ Plano municipal de gestão integrada de resíduos
- ❖ Erradicação dos lixões até 2014
- ❖ Estabelecimento da diferença entre resíduo e rejeito
- ❖ Logística reversa

(agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; produtos eletroeletrônicos e seus componentes)

Classificação de resíduos sólidos

- **ABNT NBR 10.004/2004 (pela periculosidade)**

 - Classe 1 – Perigosos

 - Classe 2 – Não perigosos

 - Classe 2a - não perigosos e não inertes

 - Classe 2b - não perigosos e inertes

- **Manual de Orientação para Planos de Gestão de Resíduos (MMA, 2012) (pela origem)**

 - resíduos sólidos domiciliares - coleta convencional, domiciliares secos, domiciliares úmidos, da limpeza pública, da construção civil, volumosos, verdes, de serviços de saúde, eletroeletrônicos, dos serviços públicos de saneamento básico, cemiteriais, agrosilvopastoris

Responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos
(BRASIL, 1988, 2010; CONAMA, 1993, 2002 e 2005)

TIPOS	RESPONSÁVEL
Domiciliar	Município
Comercial	Município (para pequenas quantidades) Gerador (para grandes quantidades)
Público	Município
Serviços de saúde	Gerador
Industrial	Gerador

(Soares, 2011)

Resíduos Sólidos Urbanos

- Resíduos sólidos urbanos são resíduos domiciliares, de logradouros públicos, de varrição e comercial em pequenas quantidades.
- São os domiciliares e de serviço público pelo MMA (2012) e Classe 2a - Não Perigosos e Não Inertes pela ABNT (2004).

Disposição no solo

- Lixões (resíduos dispostos a céu aberto, não compactados)
- Aterros comuns ou controlados (resíduos compactados e cobertos com material inerte)
- Aterros sanitários (impermeabilização, drenagem, tratamento do chorume)
- Aterros industriais (impermeabilização, drenagem, tratamento do chorume)
 - Classe I (resíduos perigosos)
 - Classe II (resíduos não perigosos)

Panorama dos RSU no Brasil

- Em 1991: 100.000 t/dia, **10% em aterros sanitários**, 13% em aterros controlados e 76% em lixões; 1% tratado (incineração, compostagem, reciclagem)
- Em 2000: 228.413 t/dia, **36% em aterros sanitários**, 37% em aterros controlados e 21% em lixões
- Em 2008: 183.488 t/dia; **65% em aterros sanitários**, 16% em aterros controlados e 18% em lixões
- Em 2014: 215.000 t/dia, **58% em aterros sanitários**, 42% em disposição inadequada

(IBGE, ABRELPE)

Situação dos RSU no Brasil

Geração média: 0,4 a 1,2 kg/hab/dia

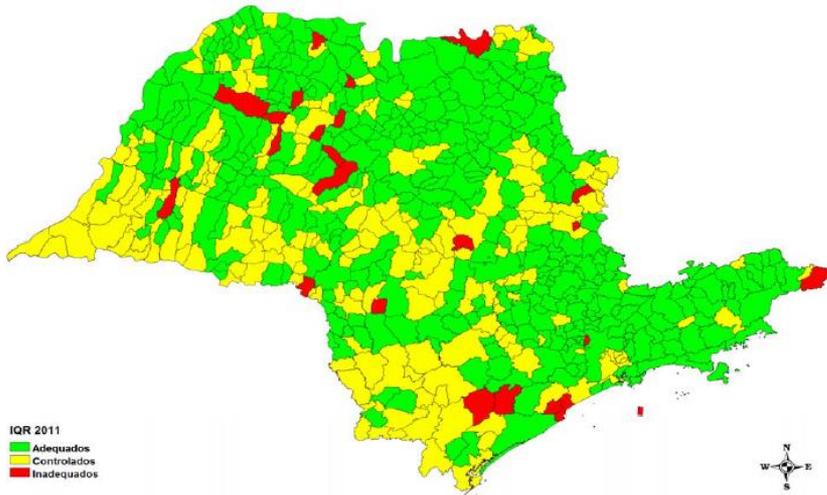
- As 13 maiores cidades do Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Fortaleza, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Manaus, Recife, Porto Alegre, Belém, Guarulhos e Goiânia) geram 32% de todo o lixo urbano do país.
- Disposição inadequada em pequenos municípios

Situação dos RSU em SP

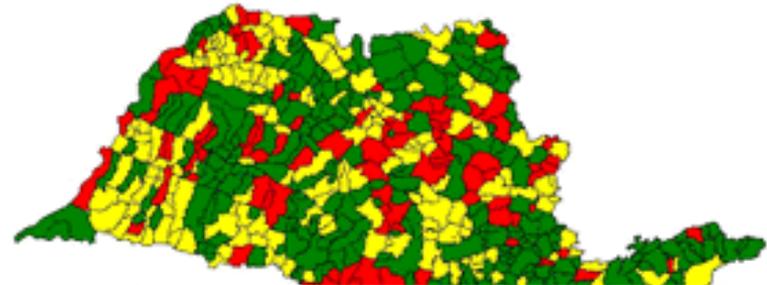
- Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares (CETESB)
- IQR - Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
- 41 variáveis englobando: localização, infraestrutura e condições operacionais
 - condições adequadas $IQR \geq 8$
 - condições controladas $6 < IQR < 8$
 - condições inadequadas $IQR \leq 6$
- Atualmente: adequadas (>7) e inadequadas (<7)

Situação dos RSU em SP

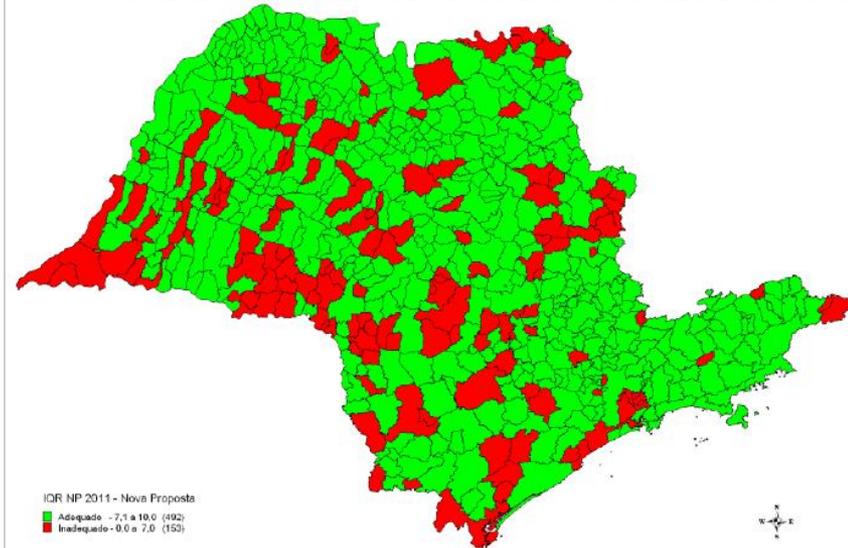
ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO - IQR 2011



Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos 2007



ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO - NOVA PROPOSTA - 2011

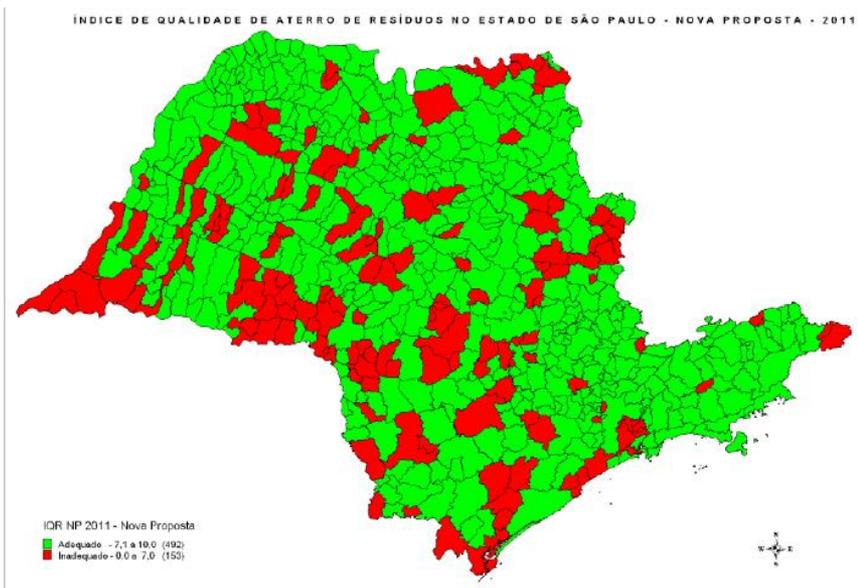


2011 – Nova proposta

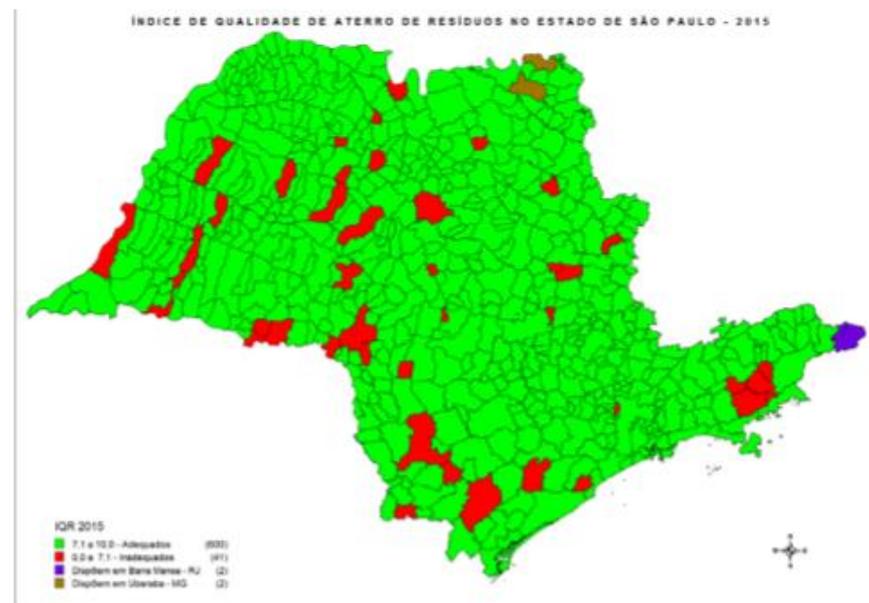
(CETES)I

IDR NP 2011 - Nova Proposta
Adequado - 7,1 a 10,0 (192)
Inadequado - 0,0 a 7,0 (150)

Situação dos RSU em SP

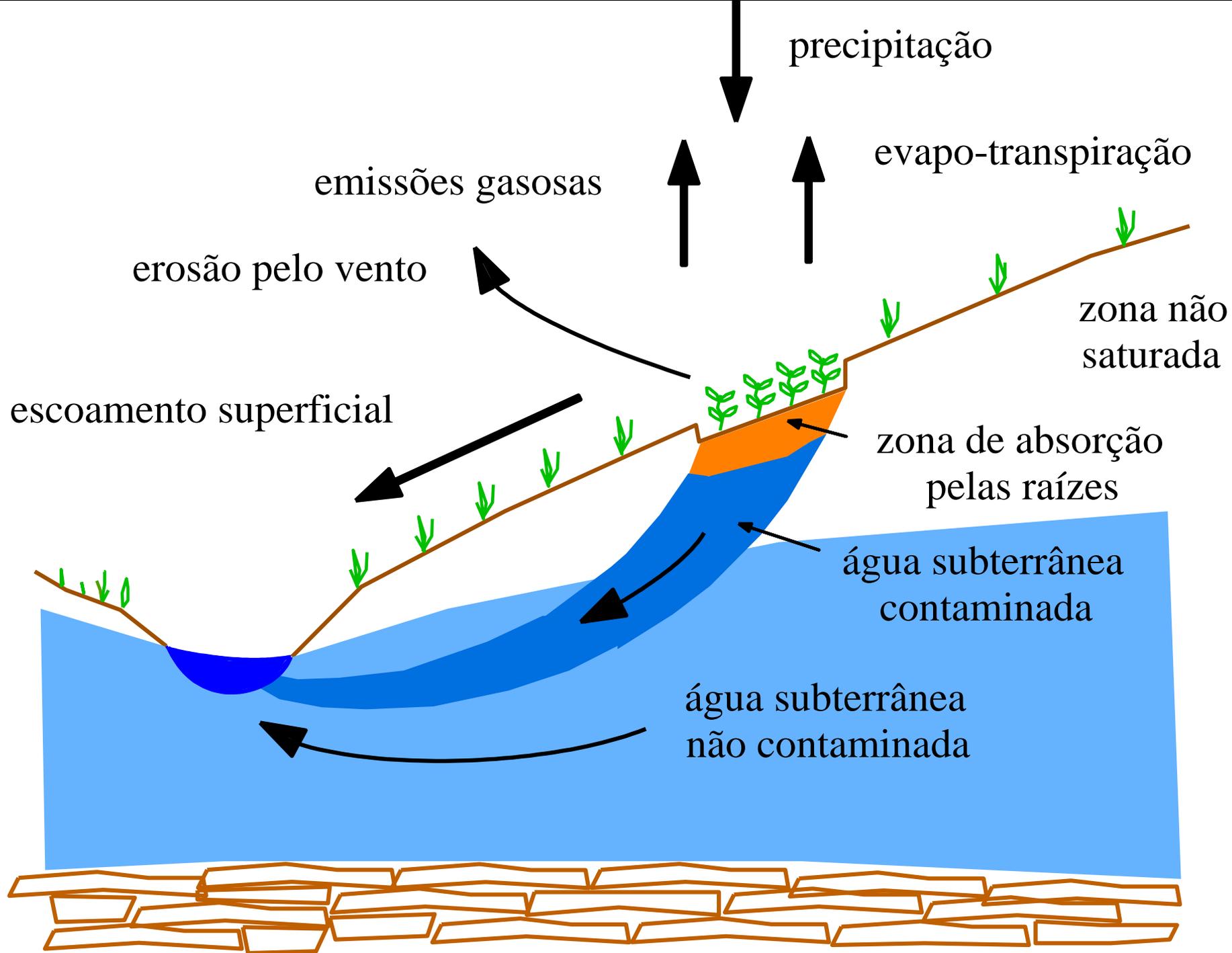


2011



2015

(CETESB 2016)



Migração de poluentes

- Poluentes provenientes dos resíduos ou dos produtos secundários de decomposição ou reação
- *Percolado, Chorume ou Lixiviado*
- Aumento do índice de doenças, destruição da flora e da fauna, alterações do clima e poluição das águas superficiais e subterrâneas

- Chorume pode atingir poços e águas superficiais
- Ar pode ser contaminado por volatilização de componentes dos resíduos, por gases emitidos da superfície ou do interior da massa de resíduos e por partículas carregadas pelo vento
- Vegetação pode ser poluída pela sucção pelas raízes ou por aderência às folhas









Aterro de resíduos

Sistema devidamente preparado para a disposição dos resíduos sólidos, englobando, sempre que necessário, determinados componentes e práticas operacionais, tais como: cobertura, divisão em células, compactação dos resíduos, sistema de impermeabilização, sistema de drenagem para líquidos e gases, tratamento de lixiviado, e monitoramento geotécnico e ambiental.

Aterro de resíduos

- O termo refere-se, portanto, à instalação completa e às atividades que nela se processam; ou seja, inclui o local, a massa de resíduos, as estruturas pertinentes e os sistemas de implantação, operação e monitoramento.

Critérios de projeto

- Um aterro de resíduos deve ser projetado e operado de forma a controlar a emissão de contaminantes (*percolado, lixiviado ou chorume; gases; partículas*) para o meio ambiente.
- Princípio: Confinamento ou contenção dos resíduos
- Novo paradigma: aterro como biorreator

Conceito de segurança

- Segurança estrutural: estabilidade da massa de resíduos em longo prazo, baseada em projeto geotécnico adequado
- Segurança ambiental: controle do escape de poluentes para o meio ambiente em longo prazo.



CTR Caieiras



(Ferrari, 2005)



Aterros de resíduos são obras recentes.

Geomembranas:

- década de 70 nos Estados Unidos
- década de 90 no Brasil

Princípio geral

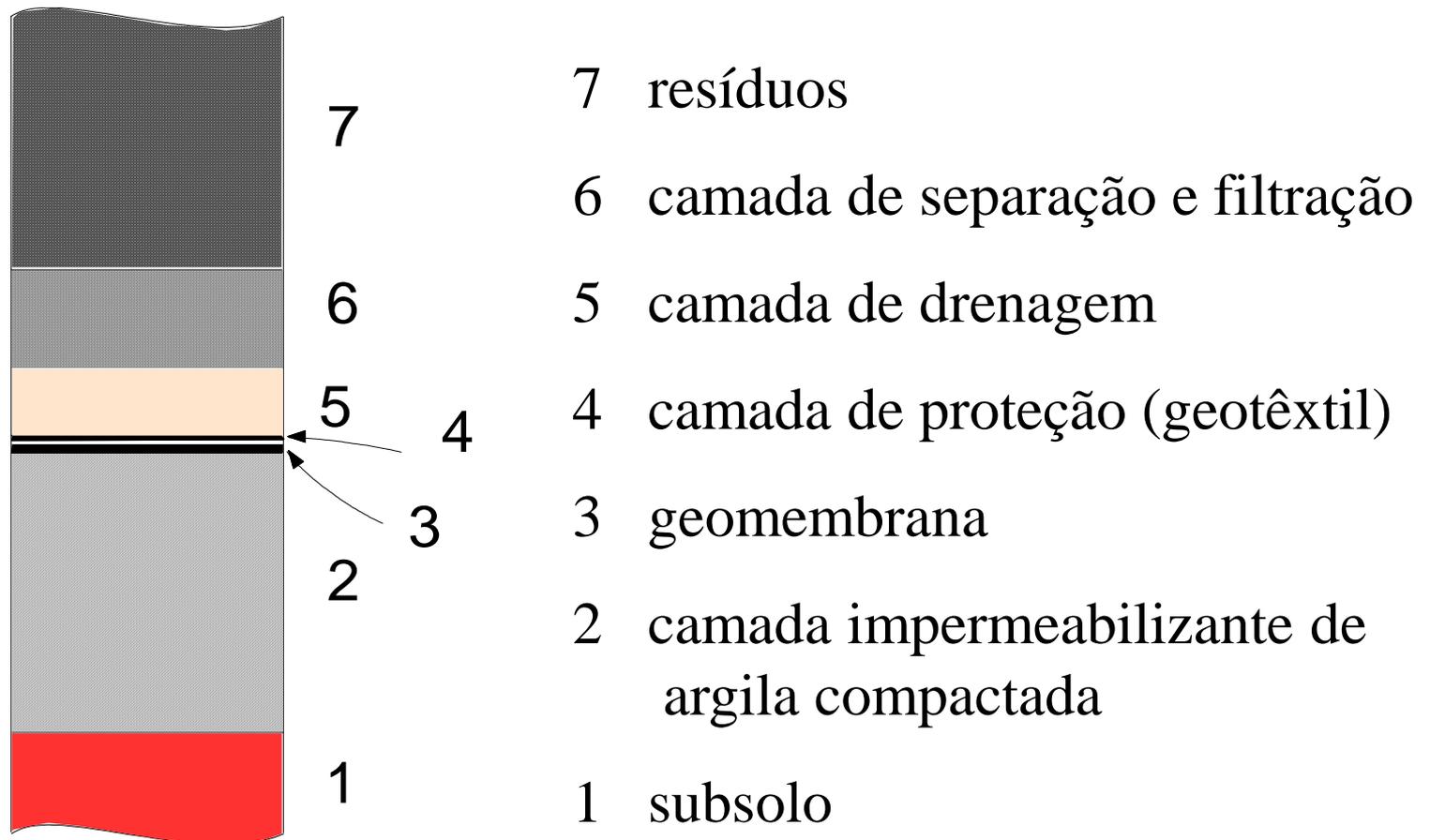
- Controlar, minimizar ou eliminar migração de contaminantes para o meio ambiente
- *Confinamento dos resíduos*
- Controle por contenção

Princípio geral

- Antigamente: “dispersar e diluir”
- Hoje: confinar
- Alternativa: aterro como biorreator (tratar)



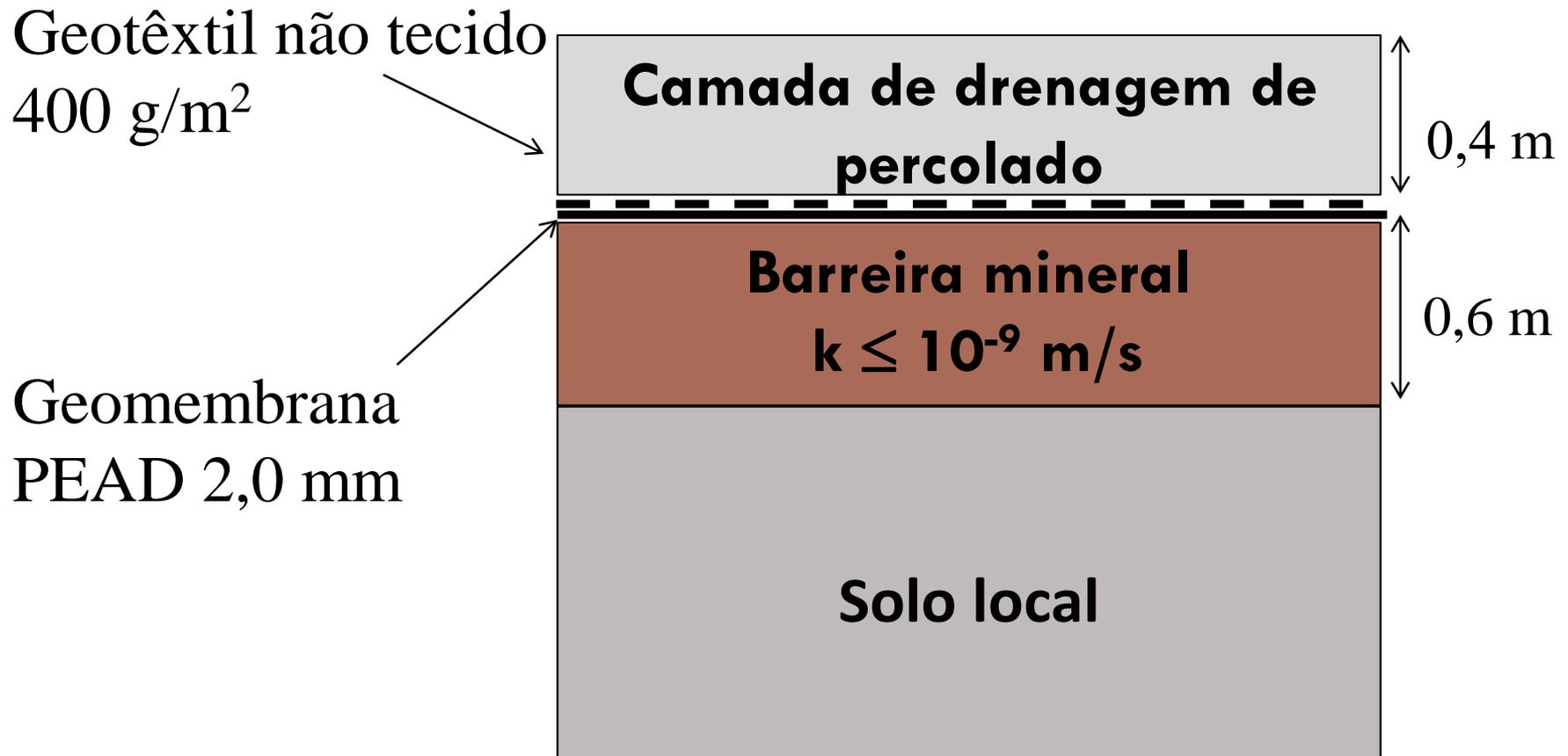
Revestimento de fundo



Revestimento de fundo

- O revestimento de fundo, que cobre o terreno e sobre o qual são depositados os resíduos, é um dos mais importantes componentes do aterro em termos de proteção ambiental.
- Sua função é impedir a percolação do interior do aterro para o subsolo e reter ou atenuar contaminantes suspensos ou dissolvidos no percolado.
- É constituído de sistemas de impermeabilização e drenagem, os quais podem ser construídos com solos, de maior disponibilidade geral, ou materiais artificiais.

Revestimento de fundo













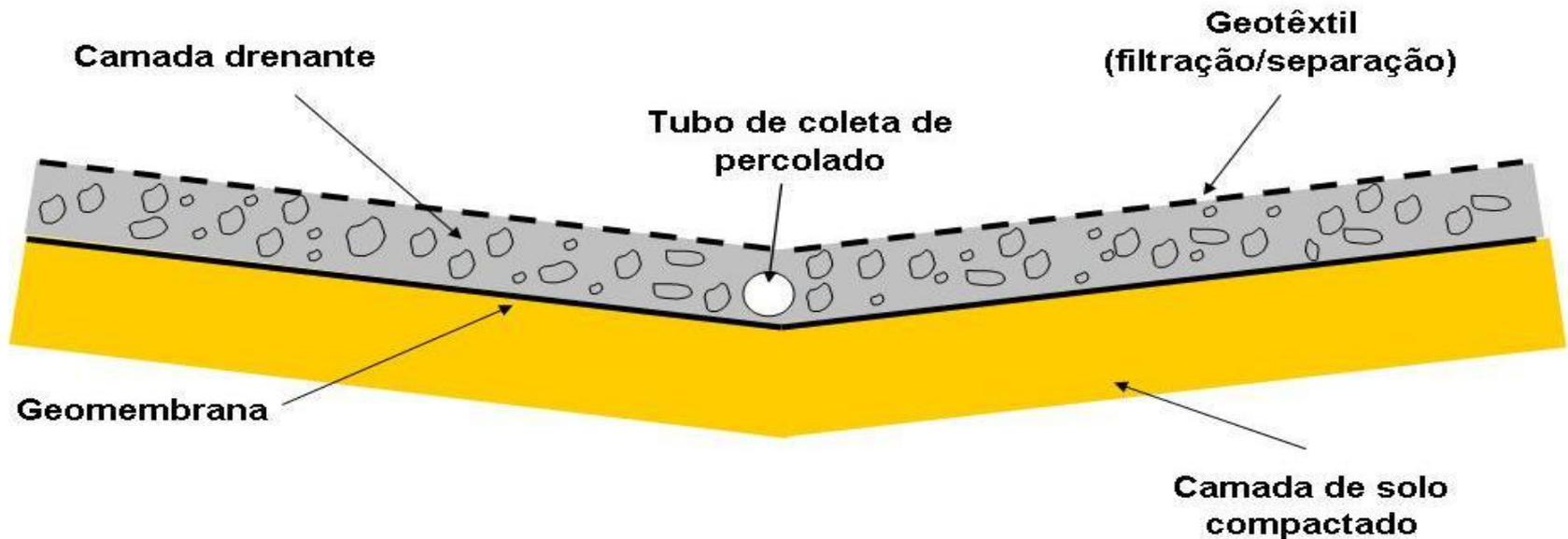




Sistema de drenagem do revestimento de fundo

- Base do aterro
- “Espinha de peixe” ou tapete
- Material granular de alta permeabilidade (brita)
- Tubulações de material resistente física e quimicamente ao tipo de resíduo disposto (PEAD)
- Geotêxtil para filtração/separação
- Colmatação física, química e biológica

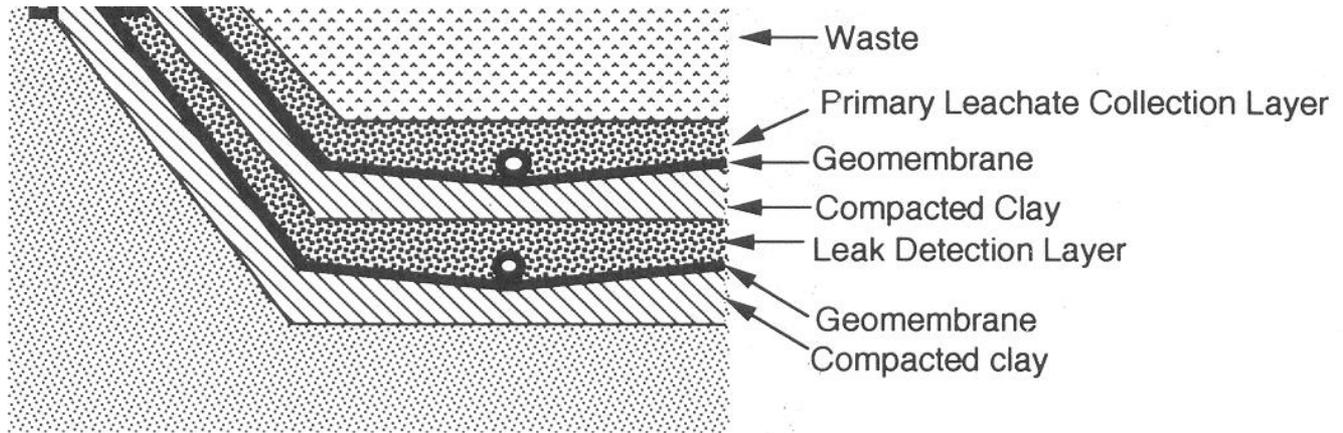
Sistema de drenagem do revestimento de fundo



(Ferrari, 2005)



Sistema de drenagem do revestimento de fundo



Impermeabilização dupla com dreno-testemunho

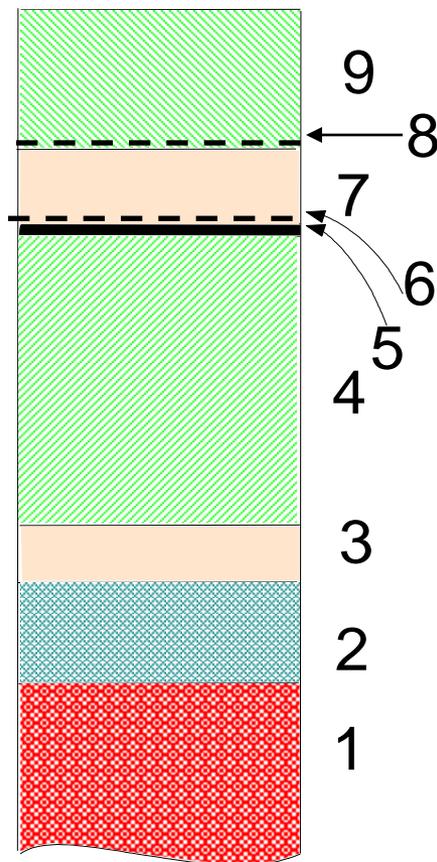


(Ferrari, 2005)

Compactação dos resíduos

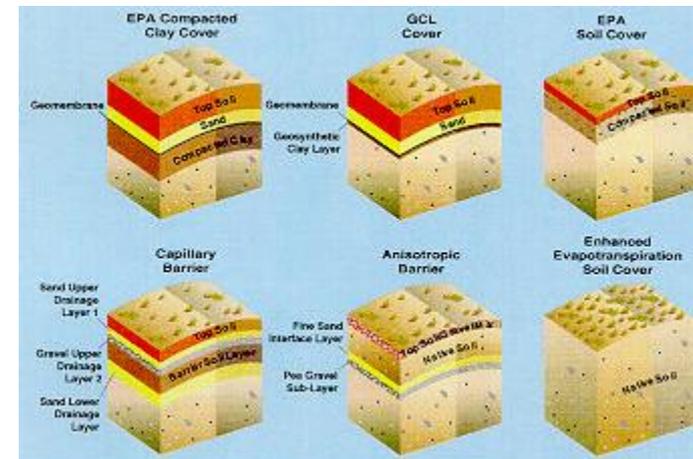


Sistema de cobertura



- 9 camada de solo de cultivo
- 8 camada de separação e filtração (geotêxtil)
- 7 camada de drenagem para águas pluviais
- 6 camada de proteção (geotêxtil)
- 5 geomembrana
- 4 camada impermeabilizante de argila compactada
- 3 camada de drenagem para gases
- 2 camada de regularização
- 1 resíduos

Sistema de cobertura

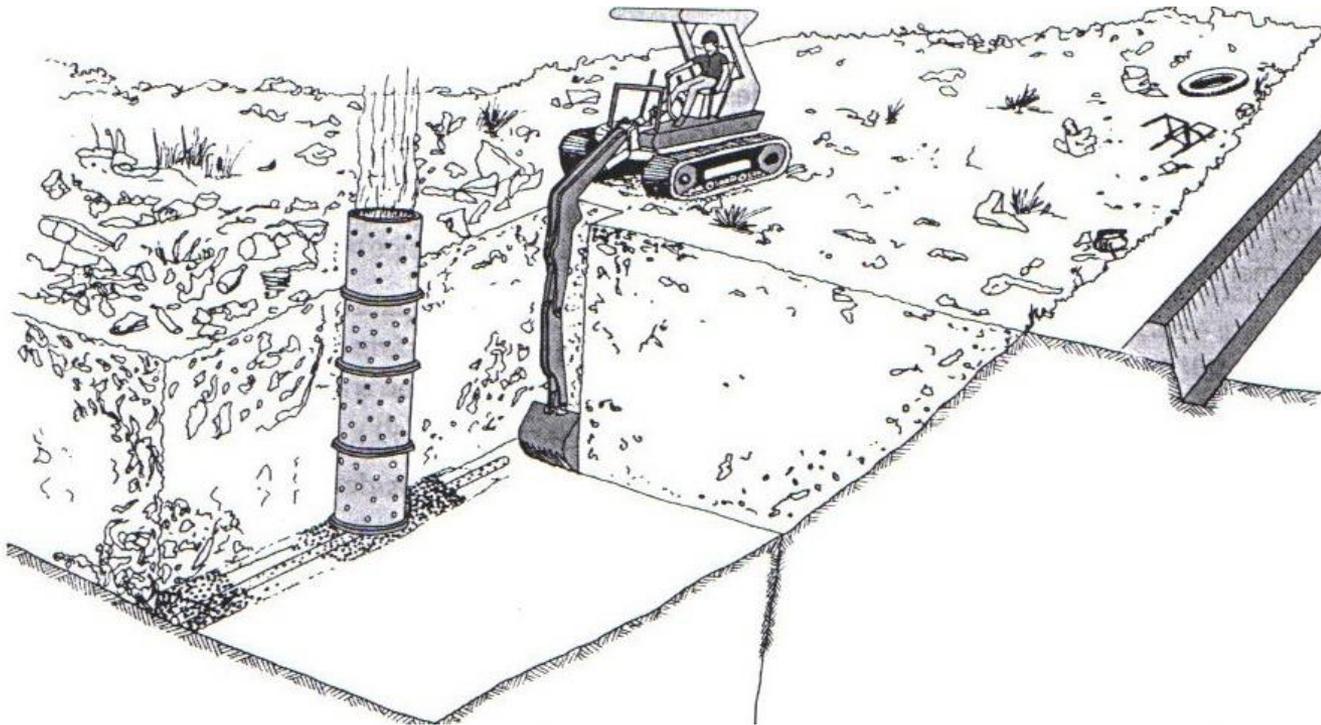


- É necessária também uma drenagem eficiente para os gases formados na massa de resíduos.
- A cobertura sobre o aterro, além de evitar a infiltração de águas de chuva, também deve restringir o escape de gases.
- Sob a sistema impermeabilizante da cobertura deve haver um sistema de drenagem que conduza os gases até os drenos verticais, pelos quais os gases sobem e atingem a superfície do aterro, onde são tratados ou aproveitados para geração de energia.

Sistema de drenagem e tratamento de gases

- Drenos verticais
- Extração passiva ou forçada
- Queima do biogás
- Utilização do biogás para a geração elétrica
- Venda de créditos de carbono

Sistema de drenagem de gases



(IPT, 2000)

(Ferrari, 2005)



Sistema de drenagem de gases





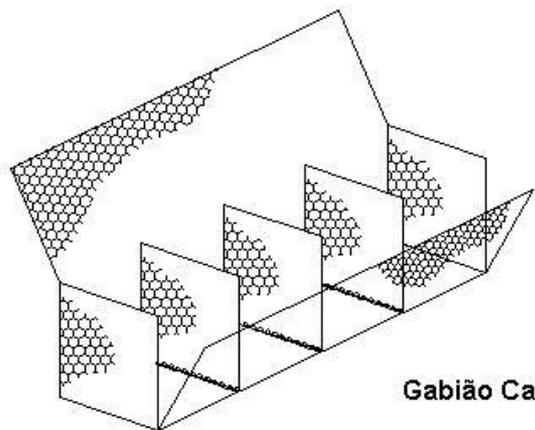
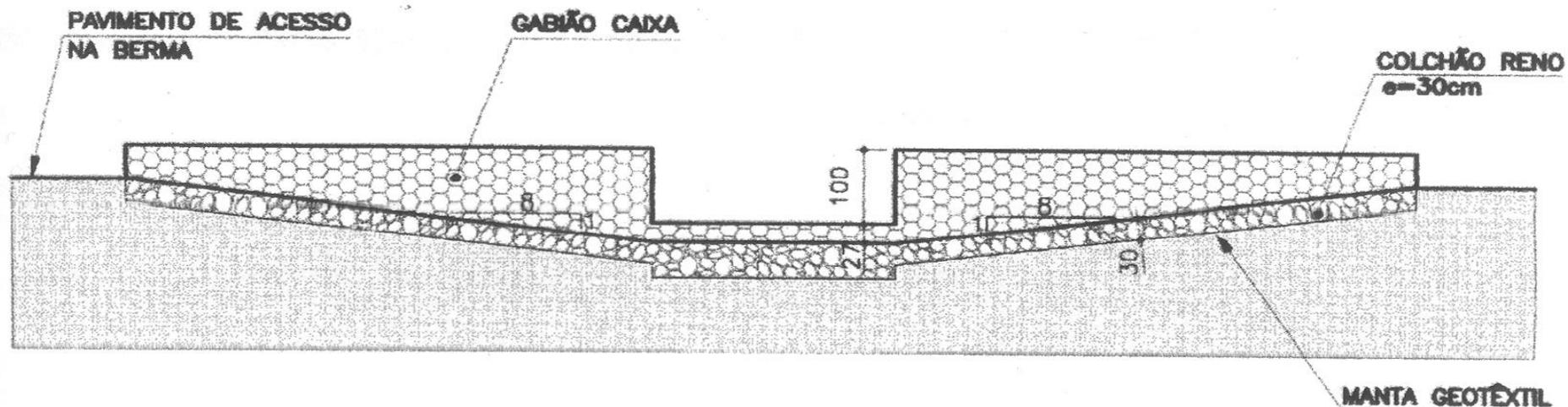
- Coleta do escoamento superficial, controle da erosão superficial, garantia da integridade das camadas impermeabilizantes e drenantes, alívio das pressões artesianas sob o aterro, restrição ao movimento da água subterrânea através do aterro, estabilidade da massa de resíduos, coleta e tratamento do percolado e do biogás, prevenção e eliminação de odores, controle da proliferação de vetores, encerramento com integração paisagística, e monitoramento geotécnico e ambiental inclusive após o fechamento.

Sistema de drenagem superficial

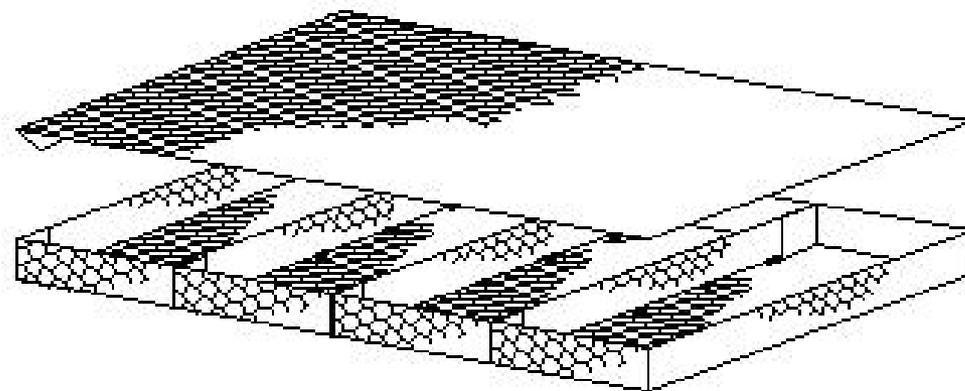
- Bermas
- Canaletas
- Escadas d'água
- Tapetes “reno”
- Bacias de sedimentação



Sistema de drenagem superficial com elementos flexíveis



Gabião Caixa

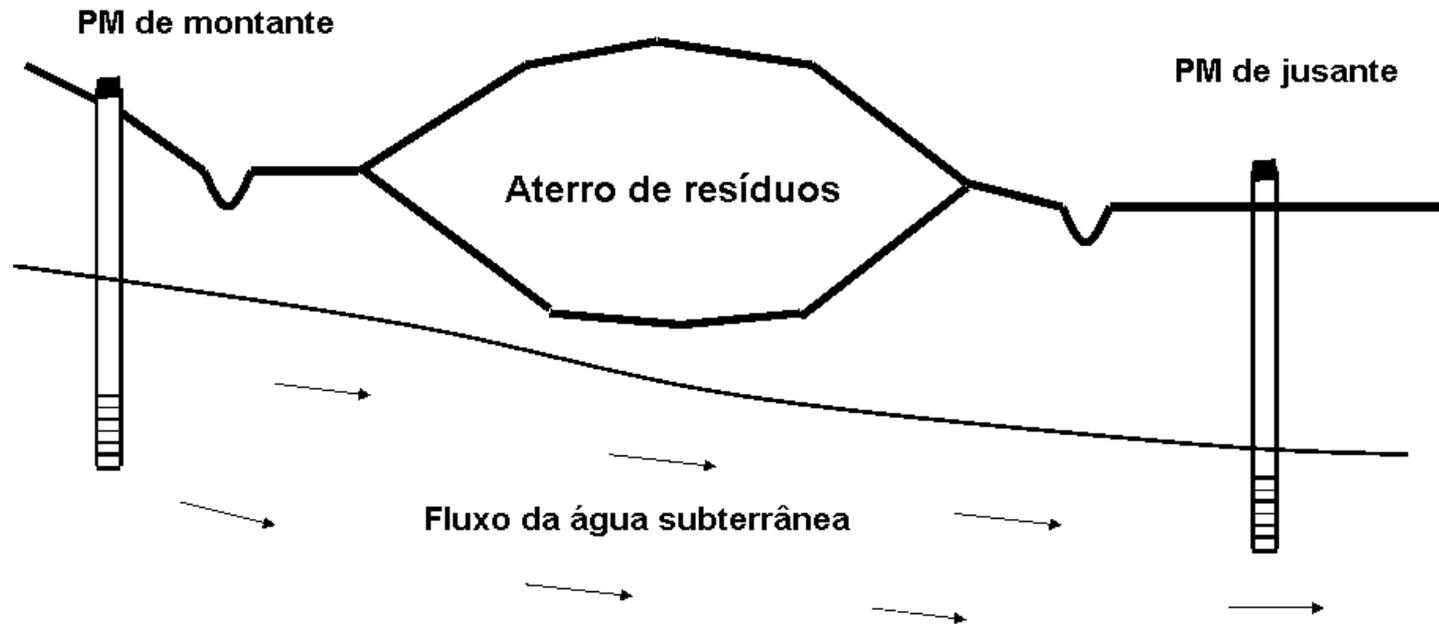


Colchão reno

Sistema de drenagem superficial

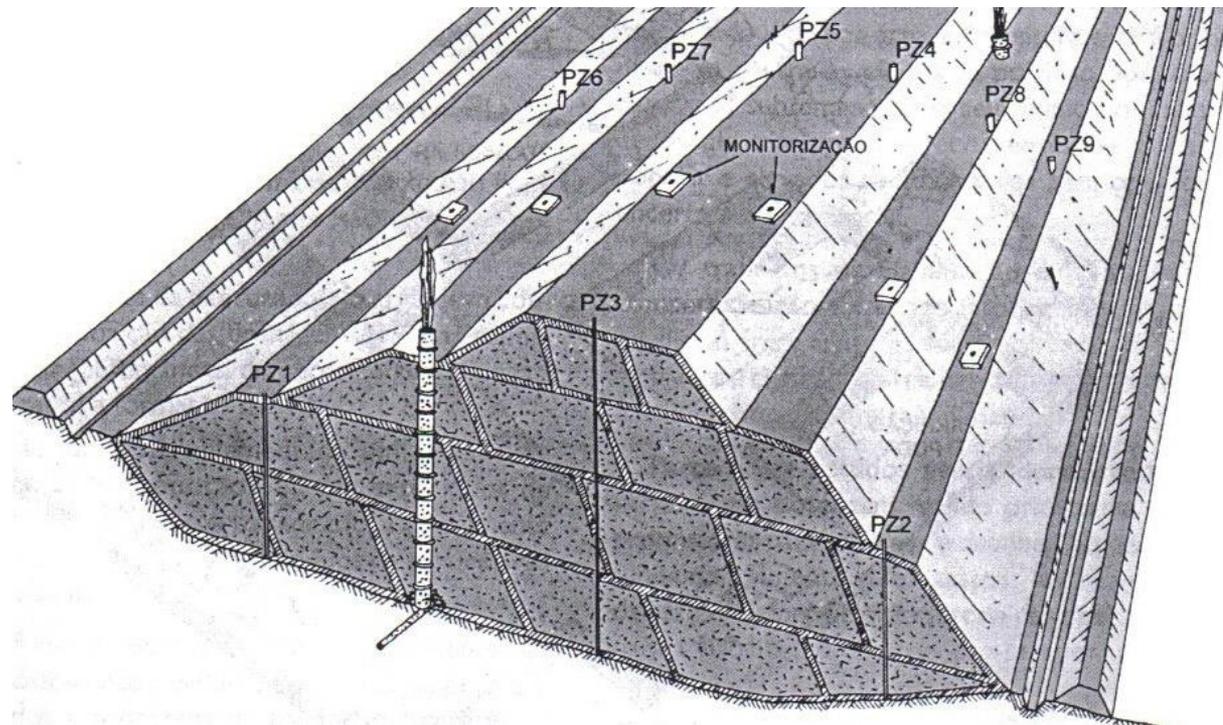


Sistema de monitoramento ambiental: poços de monitoramento



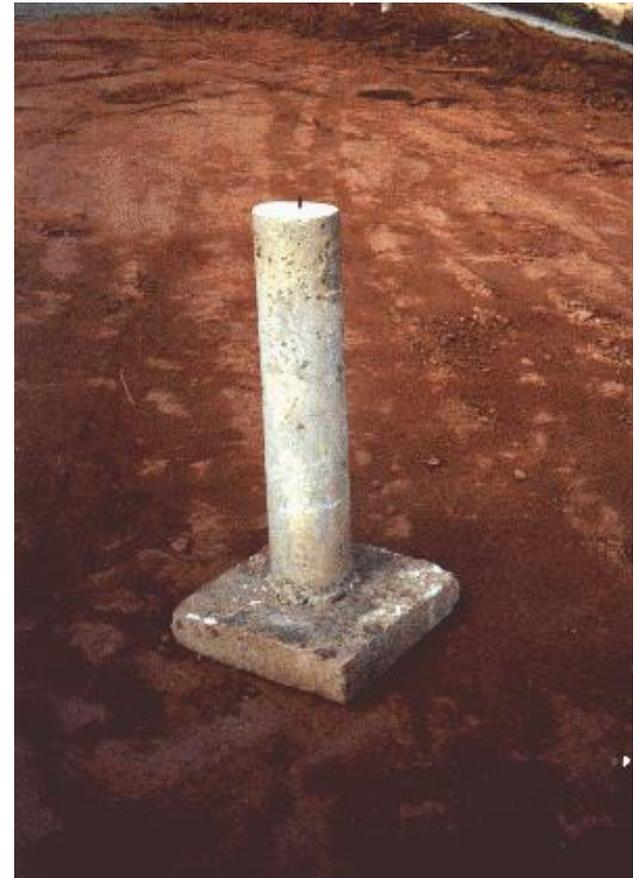
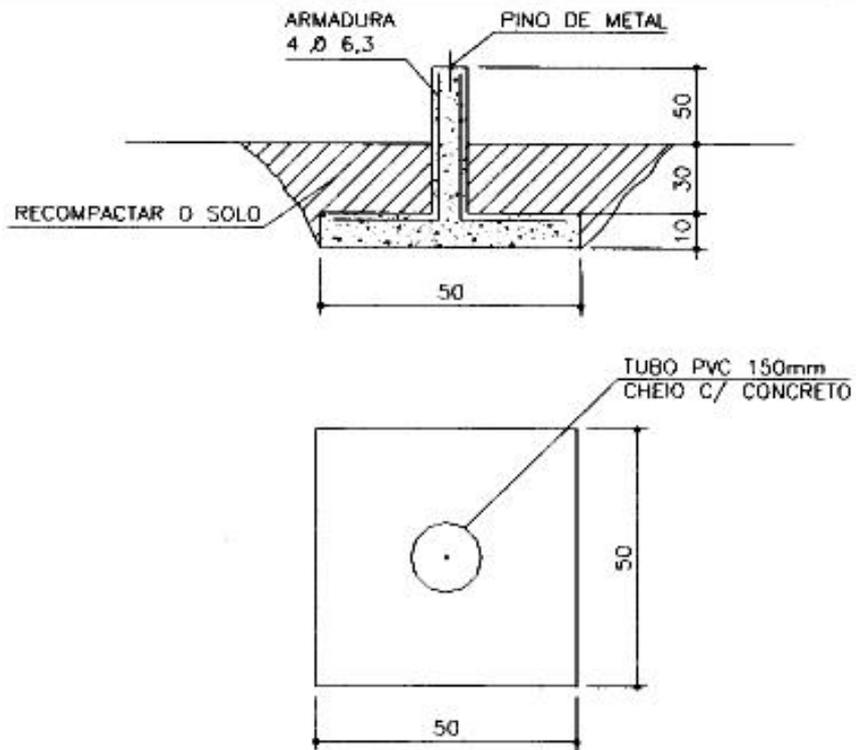
(Ferrari, 2005)

Sistema de monitoramento ambiental: marcos superficiais e piezômetros

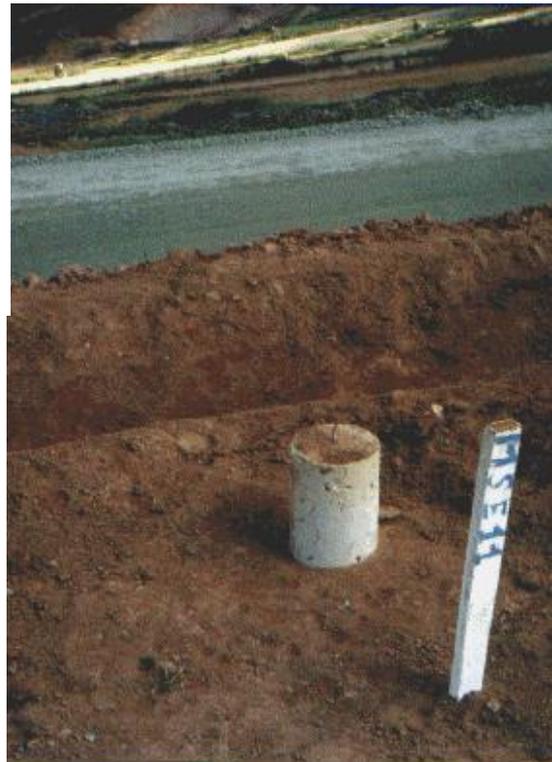
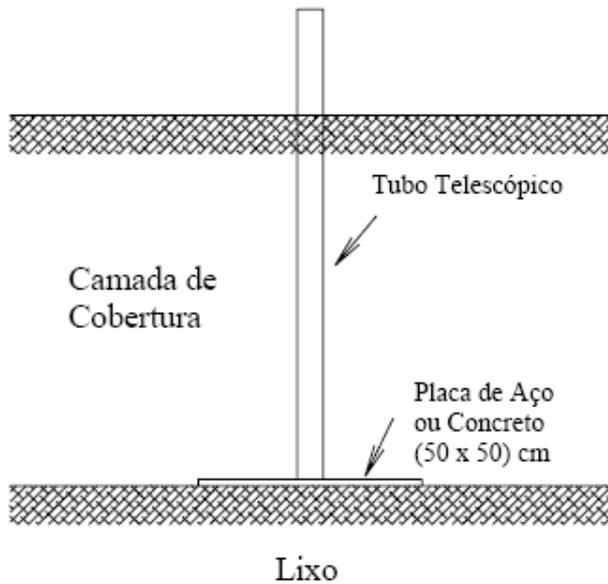


(IPT, 2000)

Marcos superficiais

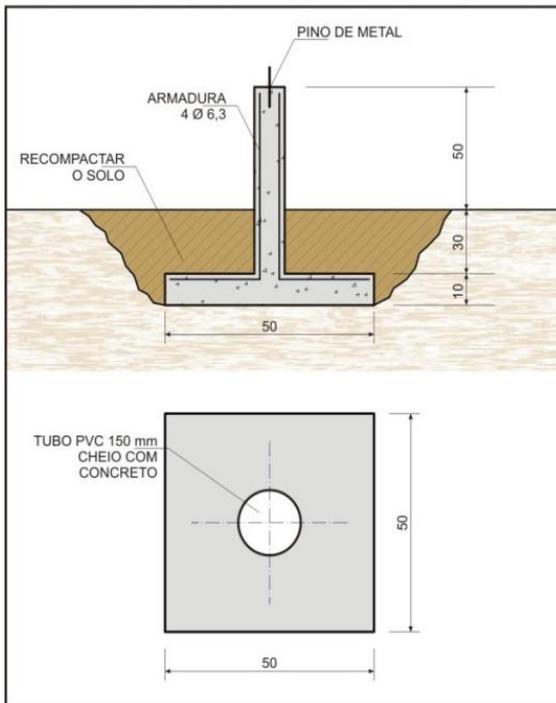


Marcos superficiais



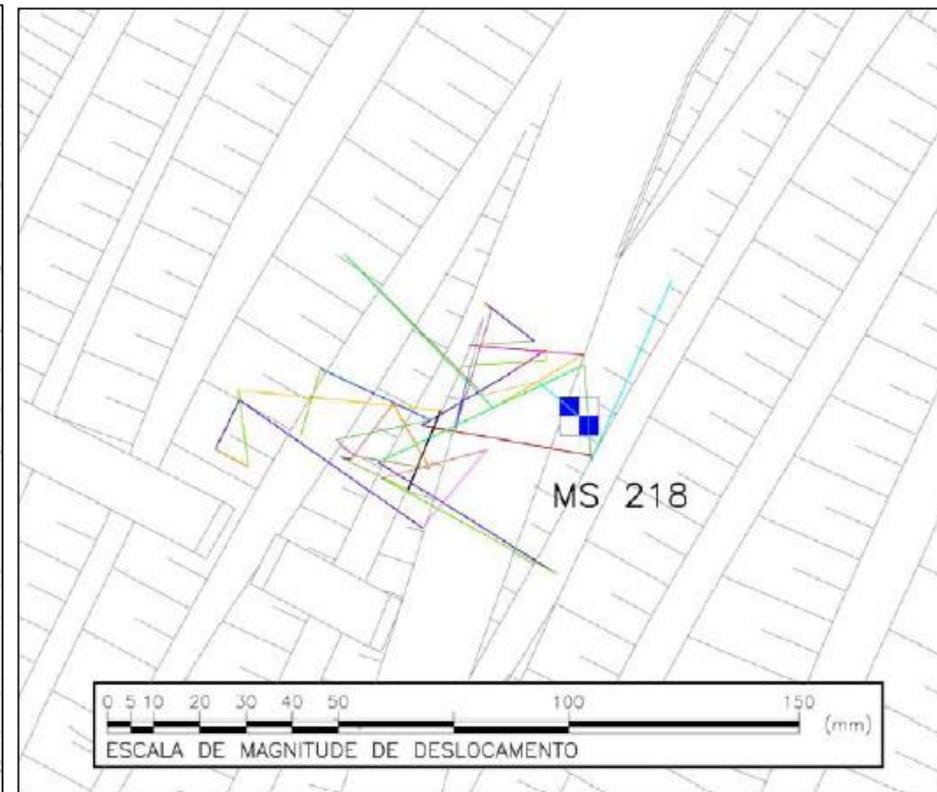
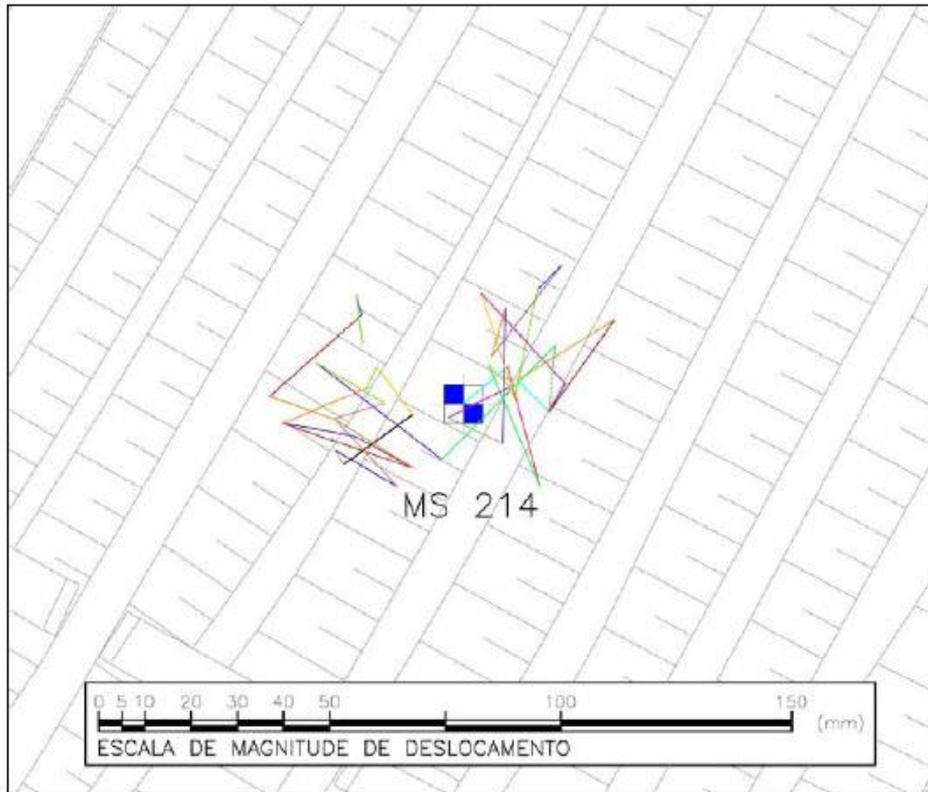
INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA

MARCO SUPERFICIAL

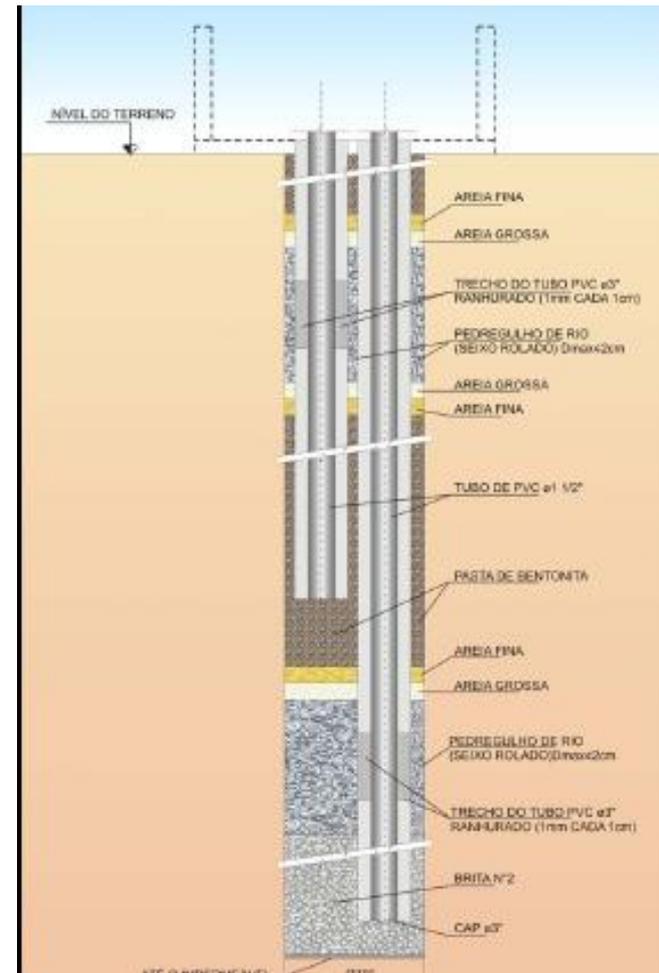
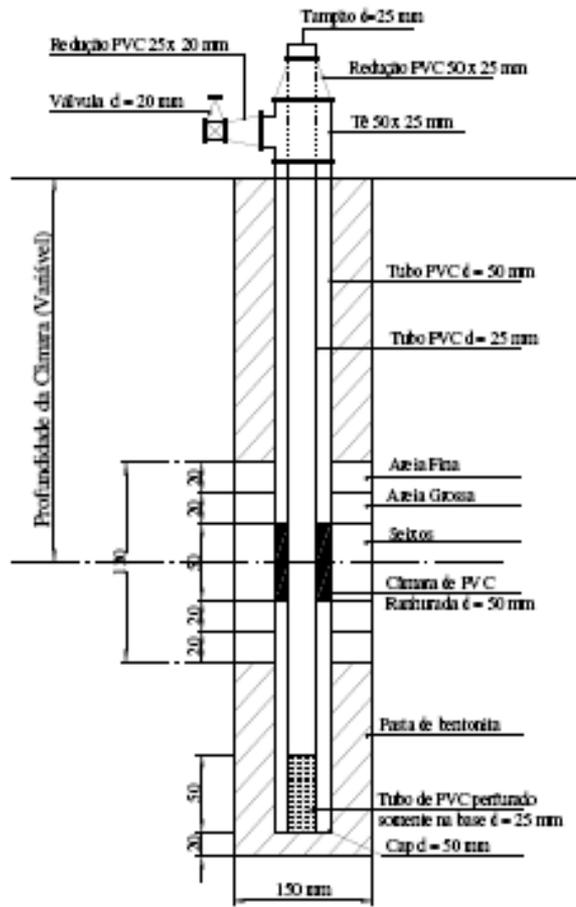


COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO

Trajétória de Deslocamento



Piezômetros



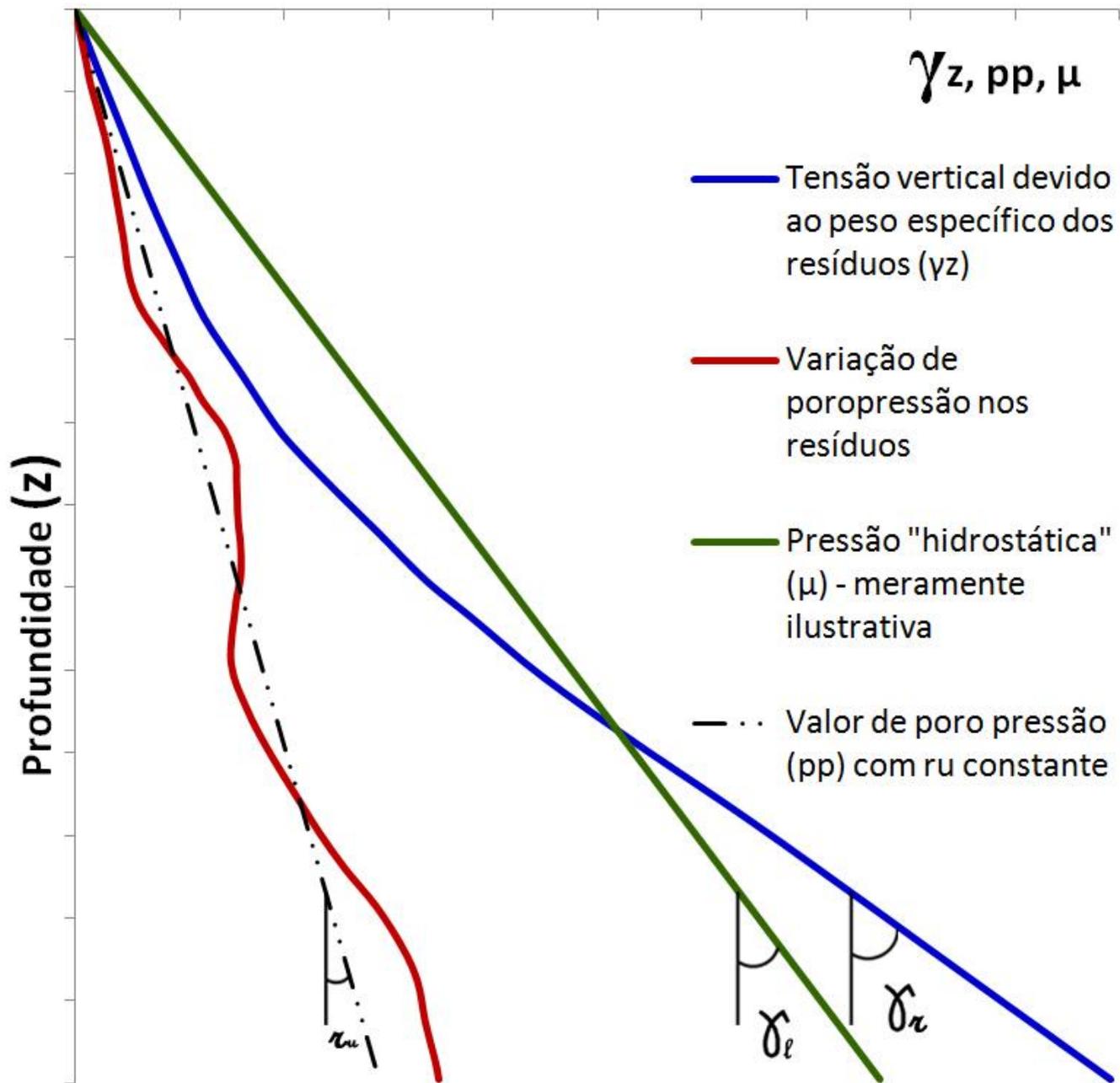
Piezômetros



Piezômetros com Elevada Pressão de Gás



Benvenuto, 2014



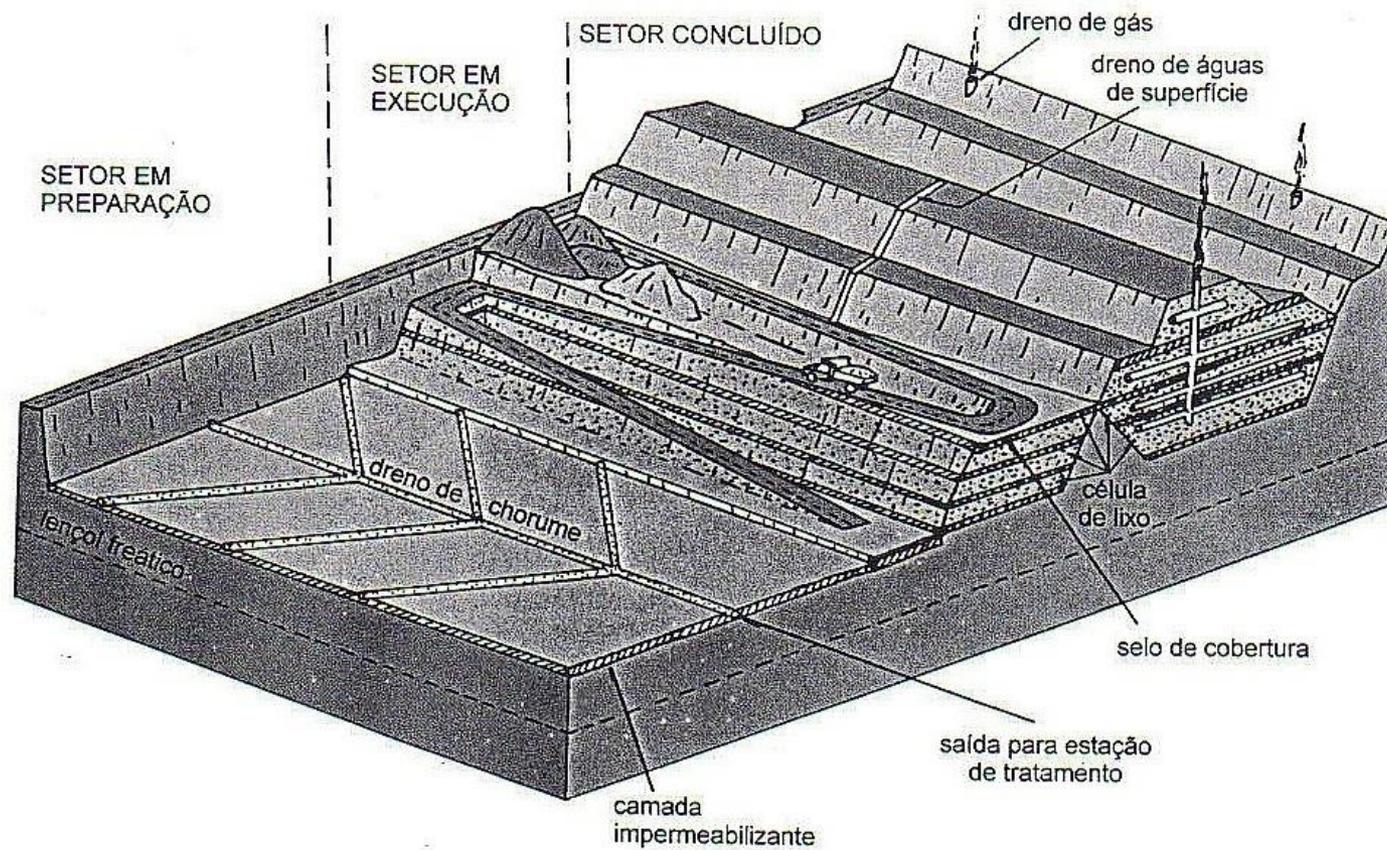
Construção e operação de aterros sanitários

- a área de disposição é recoberta com um revestimento inferior ou de base, composto por camadas de drenagem e impermeabilização
- o topo do aterro recebe um sistema de impermeabilização superior ou cobertura final, composto por camadas de drenagem e impermeabilização;

- a construção das camadas de RSU é feita pelo método de aterro em rampa: o lixo é descarregado de caminhões basculantes no pé da rampa; o trator de esteiras empurra o lixo de baixo para cima, subindo pelo talude e compactando cada camada com 3 a 5 passadas em toda sua extensão;
- o lixo depositado e compactado é coberto diariamente com uma camada de solo, inclusive os taludes, numa espessura aproximada de 15 cm;
- o aterro é construído em células, com altura geralmente entre 2 a 4 metros;
- as células são revestidas na base, topo e laterais por camadas de solo;

- há drenagem na base das células;
- para a sobreposição de uma célula aguarda-se tempo suficiente para que se processe a decomposição aeróbia do lixo;
- um sistema de drenagem superficial constituído de canaletas e escadas d'água é construído sobre a cobertura final e no perímetro do aterro;
- - há drenos verticais para o escape dos gases gerados pela decomposição anaeróbia do lixo .

Construção das estruturas de apoio: cerca de arame farpado ou tela para evitar entrada de pessoal não autorizado, bem como para reter papéis plásticos e outros detritos carregados pelo vento; guaritas nos pontos de entrada e saída de veículos; estradas de acesso e praças de descarga em boas condições de trafegabilidade; instalações destinadas à administração e à fiscalização; sistema de iluminação para o trabalho noturno; balança com capacidade mínima de 30 toneladas; pátio para estocagem de materiais (brita, terra, areia); eventualmente, a construção de dormitórios, almoxarifado, cozinha e instalações sanitárias.

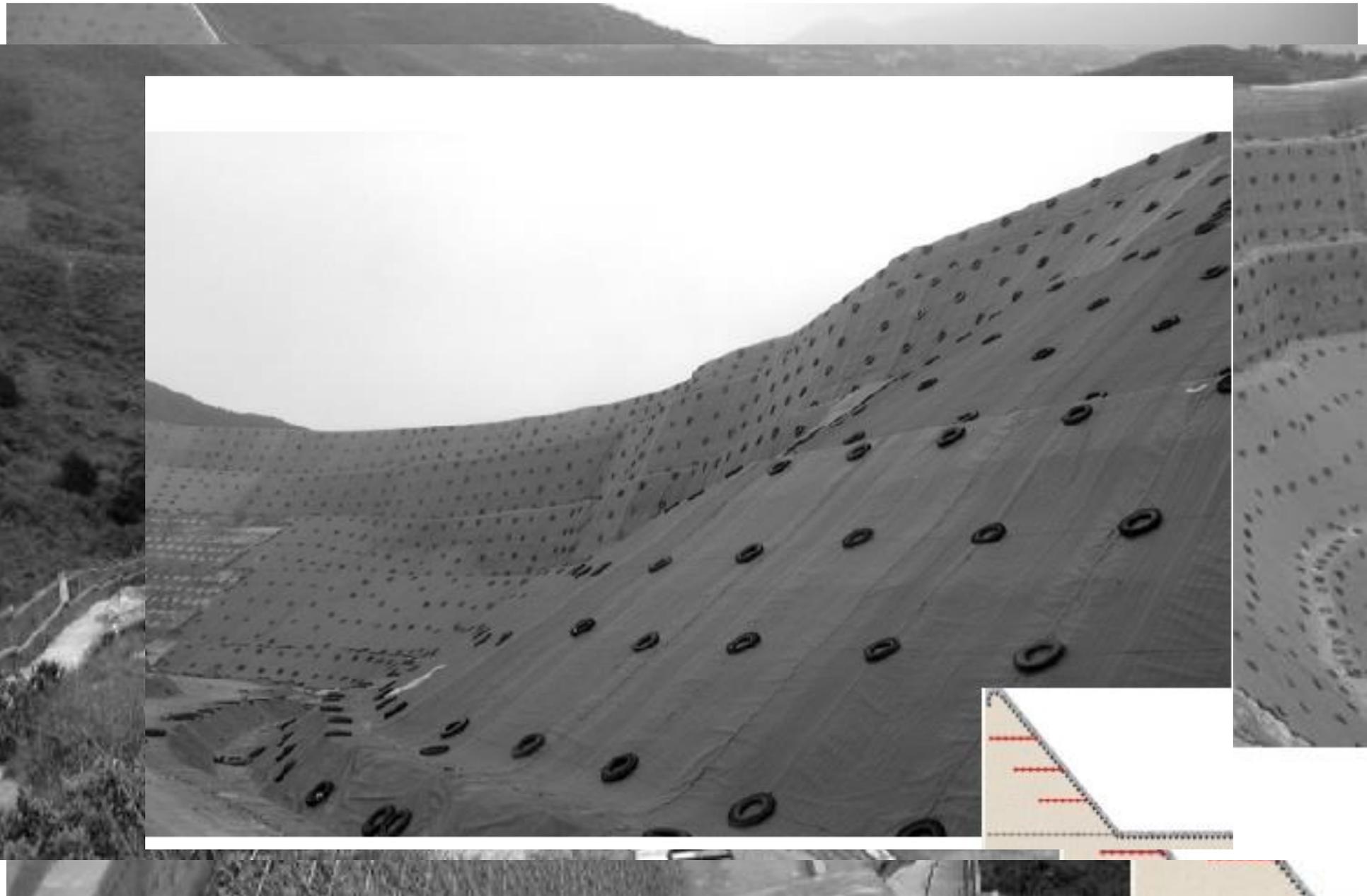












(Cowland 2007)

○ aterro como biorreator

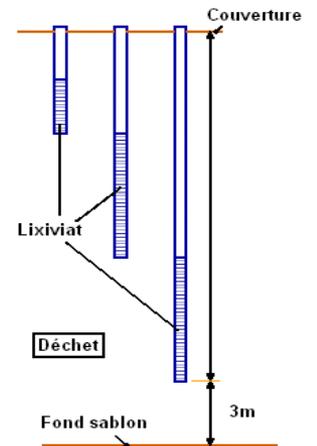
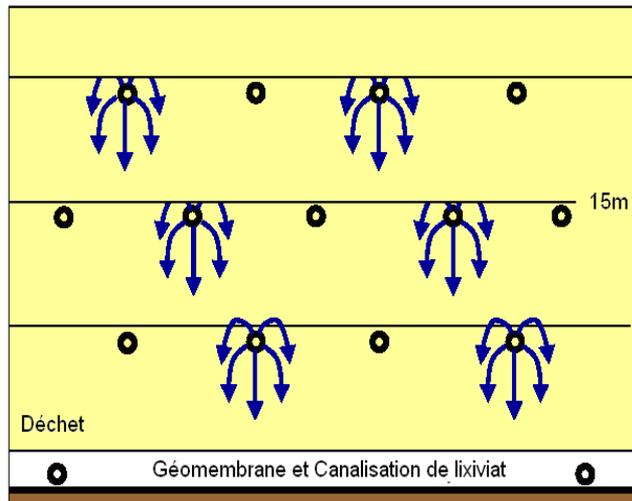
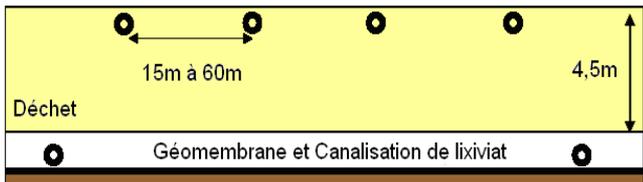
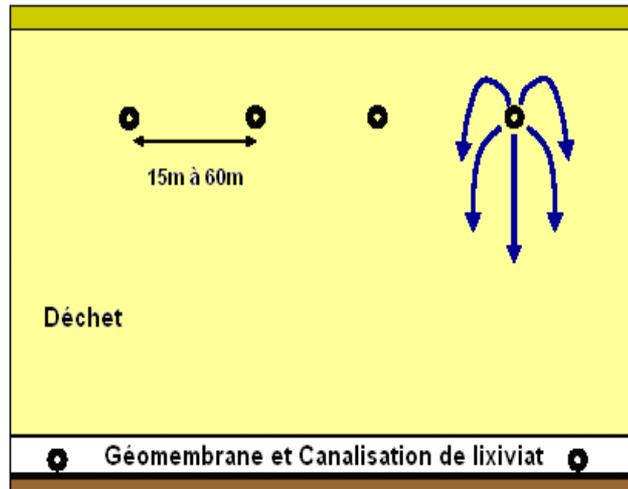
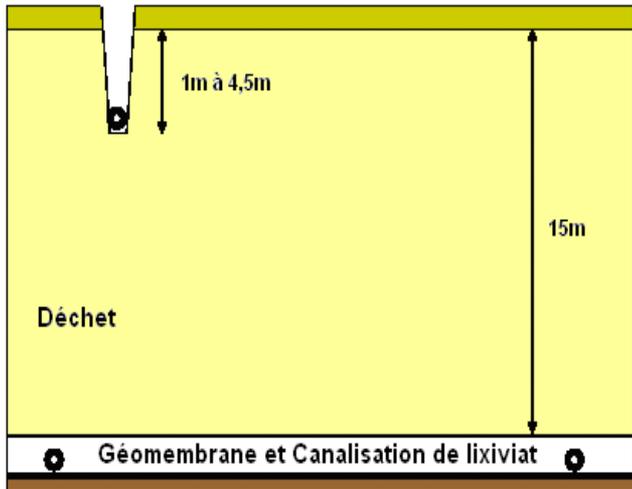
- ○ aterro passa a ser um local para tratamento dos resíduos, mais do que para armazenamento.
- A decomposição microbiana da massa de resíduos é incentivada, visando a redução da massa e volume totais de resíduos e a geração de biogás para aproveitamento energético.

- A presença de líquido na massa de resíduos é um fator chave para sustentar a operação do biorreator, ou seja, o teor de umidade é um parâmetro crítico para a operação. A água é consumida na decomposição dos resíduos e removida nas emissões gasosas e pelos sistemas de coleta de percolado. Para compensar as perdas de água e manter a atividade microbiana pode ser necessário adicionar água do sistema de abastecimento, águas residuárias, chorume ou outros líquidos.

As vantagens principais dos aterros biorreatores são:

- estabilização mais rápida da massa de resíduos, que se completa em 5 a 10 anos, enquanto em aterros convencionais são necessários de 30 a 100 anos;
- aumento da produção de biogás;
- aumento dos recalques finais e da velocidade de recalques;
- redução da carga poluente no percolado (redução parcial a total dos produtos orgânicos, diminuição da DBO, aumento da produção de ácidos graxos que elevam o pH e reduzem a capacidade do chorume de transportar metais, e geração de um material semelhante ao húmus que age como um filtro para sais e metais presentes no chorume.

- As desvantagens dos aterros biorreatores são as pressões neutras elevadas, a acumulação de azoto no chorume e a eventual degradação da cobertura e dos sistemas de injeção de líquidos e de captação de biogás devido aos recalques diferenciais.



Critérios de projeto

Um aterro de resíduos pode ser considerado como uma estrutura para a qual deve haver garantia de segurança a longo prazo baseada em projeto geotécnico adequado

O estado limite de utilização não está relacionado apenas à estabilidade da massa de resíduos, como também ao impacto ambiental decorrente do escape de poluentes para o meio ambiente

Garantia de segurança a longo prazo

- deslocamentos internos e externos
- estabilidade da massa de resíduos
- estanqueidade dos revestimentos impermeabilizantes
- entrada de água
- trincas, puncionamento e ruptura
- problemas no sistema de percolado
- reações químicas entre solo e solução que afetem a permeabilidade

Principais causas de colapso (Loehr, 1987)

- métodos de operação que permitam entrada de grande quantidade de líquido até o fechamento
- métodos de operação que resultem em trincas, puncionamentos e rupturas das camadas impermeabilizantes
- sistemas de coleta de percolado com erros de projeto ou defeitos de instalação
- adensamento do aterro que resulte em rupturas das camadas impermeabilizantes
- percolados que afetem a permeabilidade das camadas impermeabilizantes por contração, trincamento ou expansão da argila

Aspectos de projeto

- Proteção das águas subterrâneas: prevenir a formação e a migração do lixiviado.
- A geração do lixiviado pode ser reduzida:
 - diminuindo-se a água contida nos resíduos por meio de secagem prévia
 - evitando-se infiltração de líquidos no aterro por meio de cobertura impermeável, minimização da área superficial exposta e coleta de água superficial.

- Para controlar a migração de lixiviado:
 - revestir a superfície do terreno com camada impermeável
 - segmentar a área do aterro em células envoltas por material impermeável
 - drenar, coletar e tratar o percolado

Aterro Sanitário Itaquaquecetuba– SP

25/Abr/2011 – Ruptura do talude
frontal



RUPTURAS



RUPTURAS



□ RUPTURA SECA

RUPTURAS



Desaterro Sanitário ou Mineração de Aterros de Resíduos

- O conceito não é novo e seu mais antigo registro é de 1953, em Israel, para obter fertilizante (!?) para plantações (pomar!?), sendo o único registro até a década de 90.
- A idéia é parte de um conceito mais amplo apresentado por Cossu (2013) de Mineração Urbana (“Urban mining”)

Desaterro Sanitário

- Segundo Cossu (2013) pode-se definir:

$$E = \Delta R + \Delta L + \sum d_i + I$$

Onde:

E = matéria prima extraída; ΔR = material reciclado e reutilizado; ΔL = material de desaterro sanitário; d_i = emissão difusa de massa; I = material imobilizado

Desaterro Sanitário

- Ou graficamente em termos de fluxograma

