



## Methane to Markets

*Controle de Lixiviado (Chorume) &  
Tecnologias de Controle*



2



## Conteúdo

- Características
- Fontes
- Coleta
- Tratamento



3



## Chorume

- Gerado por líquidos:
  - Precipitados, inseridos
  - Misturados aos resíduos
- Sólidos suspensos e dissolvidos:
  - Inorgânicos
  - Orgânicos
  - Micro-organismos
- Características dependentes de:
  - Tipos de resíduos
  - Idade dos Resíduos
- Custo majoritário relativo aos aterros

4

## Chorume “Típico”

- BDO= 10,000 mg/l
- DQO= 18,000 mg/l
- pH = 6
- Dureza total= 3,500 mg/l
- Cloretos (Cl) = 500 mg/l
- Sulfatos (SO<sub>4</sub>) = 300 mg/l
- Ferro (Fe) = 60 mg/l



5

## Fatores de Geração

- Área Geográfica
- Frequência de Chuvas
- Estação do Ano
- Resíduos de Cobertura
- Métodos Operacionais
  - Drenagem Pluvial
  - Lonas para Chuva
- Composição dos resíduos
  - Teor de orgânicos e conteúdo de umidade

6

## Lagoa de Chorume - Áreas Baixas



7

## Escoamento de chorume



8

## Infiltração de Água Superficial



9

## Controle da Água

- Manter os líquidos fora do aterro
- Evitar água subterrânea
- Controle de entrada e saída de água
- Cobertura impermeável



10

## Descarga Superficial

- Odores desagradáveis
- Contaminação de águas superficiais
- Pode atingir aquíferos subterrâneos
- Danos à vegetação
- Cor usualmente escura e “enferrujada”

11

## Descarga Superficial Quase imperceptível



12

## Descarga Superficial

### Pequenas vazões



13

## Descarga Superficial

### Vazão maior



14

## Descarga Superficial

### Declive de escoamento lateral



15

## Descarga Superficial

### Escoamento superficial



16

## Descarga Superficial Emanação de odores



17

## Descarga Superficial Óbvio impacto visual



18

## Projeto Sistema de Fundo

- **Camada de baixa permeabilidade (argila)**
  - Natural (local)
  - Camada re-compactada
- **Geotêxtil (sintética)**
  - Camada simples de geotêxtil
  - Camada dupla sintética/ argila
- **Camada composta**
  - Camada composta dupla
  - Com ou sem detecção de vazamento

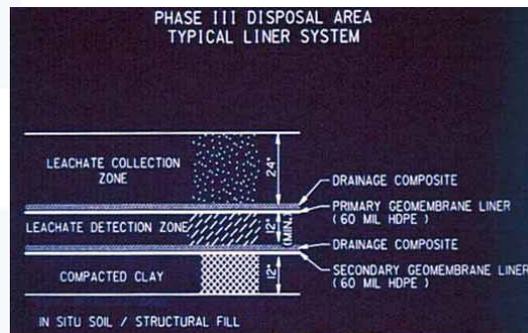
19

## Coleta de Chorume Tubulação de coleta acima da camada de cobertura



20

## Exemplo de Sistema de Camadas Camada dupla composta



21

## Desenho do Fluxo de Chorume

- Modelar alguns casos típicos para avaliar a geração de fluxo de chorume e dimensionar as instalações de coleta e disposição;
  - Meio de Drenagem
  - Tubulações
  - Bombas de chorume
  - Forças principais de descarga
  - Caminhões tanque
  - Estação de tratamento
  - Esgoto municipal

22

## Modelagem de Lixiviado

- Propósito primários
  - Ajudar nas comparações projetos de coberturas e de fundo alternativos usando cálculos de balanços hídricos e avaliações de estabilidade
  - Tendência a super dimensionamento
  - Aplicável para locais abertos, parcialmente cobertos ou totalmente cobertos
  - Provém quantidades diárias, mensais e anuais de fugas, evapotranspiração, drenagem, coleta de lixiviado e vazamento que podem resultar de uma grande variedade de projetos de aterros

23

## Modelagem de Lixiviado

- Fatores considerados
  - Tamanho do aterro e das células
  - Design da cobertura
  - Espessura dos resíduos
  - Design do sistema de coleta de lixiviado
  - Design das camadas (frentes de trabalho)
  - Considerações climáticas (reais ou padrão)
  - Recirculação ou adição de líquidos
  - Fugas baseadas no método USDA-SCS (considera textura, qualidade da vegetação quality, declive e inclinação)

24

## Modelagem de Lixiviado

- **Dados de entrada**
  - Climatológicos
    - Não considera distribuição ou intensidade de chuvas
  - Tipos de solos
  - Camadas do aterro
  - Tipo de cobertura vegetal
- **Dados de saída**
  - Valores diários
  - Totais mensais
  - Totais anuais
  - Carga máxima na camada(30 cm max.)
  - Média e máximo de coleta de lixiviado

25

## Lixiviado utilizando o HELP

- **Modelo *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance* (HELP) (Schroeder, etal, 1994)**
  - Desenvolvido pelo corpo de engenheiros do exército americano – Estação de experimentos hidráulicos para a EPA (U.S. EPA/600/R-94/168a)
  - Quasi 2-D - programa computacional para aterros de balanço hídrico e encaminhamento hidráulico
    - Calcula taxas de percolação através das coberturas
    - Simplifica equações empíricas e mecânicas
    - Simplifica o modelo de fluxo insaturado com gradiente unitário
  - Amplamente aceito e entrada direta de parâmetros
  - Careful consideration of input parameters required  
Consideração cuidadosa da entrada de parâmetros
  - Não resolve fluxos insaturados
  - Versão 3.07 (mais recente)

26

## Limitações da Modelagem

- **Qualidade da saída equivalente à da entrada de dados**
- **resultados variam com o usuário e a versão do modelo**
- **Condições de contorno do modelo:**
  - Propriedades das camadas e fluxo homogêneos
  - Dados climáticos apenas para áreas selecionadas (usar a mais próxima)

27

## Sistema de Coleta de Chorume

- **Sistema de coleta primário**
  - Propósito: transmitir o chorume de forma eficiente para fora da camada e minimizar a carga em cima da camada (30 cm max.)
- **Sistema de detecção de vazamento (em sistemas de dupla camada)**
  - Eficácia da medida relativa da camada primária
  - Sonda para medição de chorume de fontes não identificadas

28

## Componentes do Sistema

- **Cobertura protetora:** Material entre a camada de drenagem e o resíduo
  - Meio granular (areia ou brita)
  - Geotêxtil
  - Outros: tiras de pneus
- **Meio de Drenagem (alta permeabilidade)**
  - Areia ou brita
  - Rede de drenagem com geonet ou geocomposto
  - Outros: tiras de pneus, vidro moído
- **Tubulação (HDPE)**

20



## Meio de Drenagem: Parâmetros

- **Condutividade hidráulica, k (coeficiente de permeabilidade)**
  - Areia:  $10^{-4} \text{ cm/s} \leq k \leq 10^{-2} \text{ cm/s}$
  - Brita:  $10^{-2} \text{ cm/s} \leq k \leq 100 \text{ cm/s}$
  - Geonets: 1 to 34 cm/s
  - Tiras de pneus  $10^{-2} \text{ cm/s} \leq k \leq 100 \text{ cm/s}$ 
    - Deve ter compressibilidade sobre carga
- **Lei de Darcy  $Q = k i a$  (Fluxo laminar)**
  - $Q$  = vazão do fluxo
  - $i$  = gradiente hidráulico
  - $a$  = área transversal bruta da seção através da qual o fluxo escoou
  - Velocidade do fluxo  $v = ki$
  - Velocidade através dos poros,  $v = ki/n$
- **Transmissividade (T) = k x espessura da camada**

32

## Meio de Drenagem: Parâmetros

- **Declividade de controle, (s)**
  - Aproximadamente entre 1% e 2% de declividade mínima para coleta de chorume
- **Carga máxima permitida, (h)**
  - 30 cm (12-inches)
- **Distância entre tubos de coleta, (L), depende de:**
  - Carga máxima
  - Tamanho da tubulação
  - Declividade
  - Fluxo de lixiviado

33

## Etapa para o Dimensionamento

- Estabelecer a linha (camada) geométrica
- Estimar a geometria inicial do sistema de coleta
- Estimar a infiltração na camada de drenagem (Modelo HELP)
- Avaliar a carga sobre a camada
- Revisar a geometria do sistema de coleta de acordo com o necessário (revisar espaçamento entre tubulações)
- Determinar a resistência requerida pela tubulação (tamanho)
- Dimensionar as bombas
- Selecionar as especificações dos materiais

34

## Dimensionamento das Tubulações

- **Dimensionamento**
  - Vazão de lixiviado
  - Área molhada da tubulação
  - Declividade da tubulação
  - Utilizar a equação de Manning
- **Resistência**
  - Esmagamento (compressão)
  - Flambagem (flexão)
  - Deformação da seção
  - Cálculo baseado no material sobre a tubulação e tráfego de veículos (trailer de transferência/compactador)

35

Camada de coleta de lixiviado e Tubulação - Augusta County Regional Authority (Abril 2009)



## Recirculação de Lixiviado

- Uma forma de bioreator

Basic Stoichiometry of Waste Decomposition and Methane Formation

1. Refuse + Water = Carbon dioxide + Methane
2.  $C_6H_{10}O_5 + H_2O = 3CO_2 + 3CH_4$  (landfill gas)
3. Or,  $C + H_2O = \frac{1}{2}CO_2 + \frac{1}{2}CH_4$  (landfill gas)

- Aumenta a taxa de decomposição dos resíduos
  - Recupera o espaço vertical através da compactação dos resíduos
  - Acelera o assentamento dos resíduos
  - Reduz o volume de lixiviado a ser tratado
  - Pré-tratamento limitado
  - Acelera a taxa de geração de gás
  - Reduz o custo de longo prazo do tratamento
  - Sistema de lixiviado ainda requerido

37

## Recirculação de Lixiviado

- Volume de lixiviado

- depende do teor de umidade e da capacidade de campo do resíduo
  - Quanto líquido este resíduo pode receber sem problemas?
- Método de re-introdução
  - Espaçamento, profundidade, etc.
- Desenho do sistema de coleta de lixiviado
- Geralmente, 9 metros de resíduos (3 camadas) antes de se iniciar a recirculação
  - Espaçamento horizontal entre trincheiras de 15 metros
- Rodízio de re-introdução de lixiviado entre grupos de poços, fossas ou trincheiras horizontais para reduzir a saturação subsuperficial e by-pass do fluxo

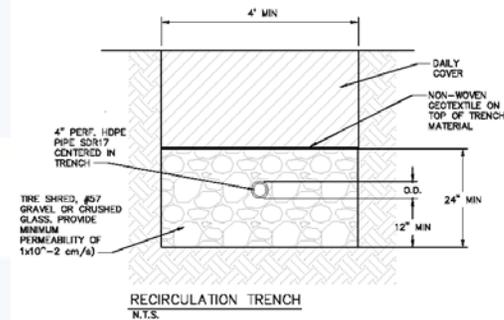
38

## Recirculação de Lixiviado

- Re-introdução de lixiviado via:
  - Poços verticais ou fossas
  - Campos de drenagem
  - Trincheiras horizontais
  - Spray de irrigação (pivô)
- Sistema de recalque inclui:
  - Caminhão bomba
  - Tubulação por gravidade
  - Tubulação pressurizada

39

## Trincheira de recirculação



40

## Sistemas de Tratamento de Lixiviado

- Lagoas de evaporação
- Evaporação de lixiviado utilizando gás do aterro
- Tratamento por infiltração/ encharcamento do solo (Passivo)
- Estação de tratamento local
- Bombeamento e lançamento em POTW
- Descarga no sistema de esgoto sanitário municipal

41

## Evaporação de Lixiviado



42

## Evaporação de Lixiviado Utilizando-se Gás de Aterro



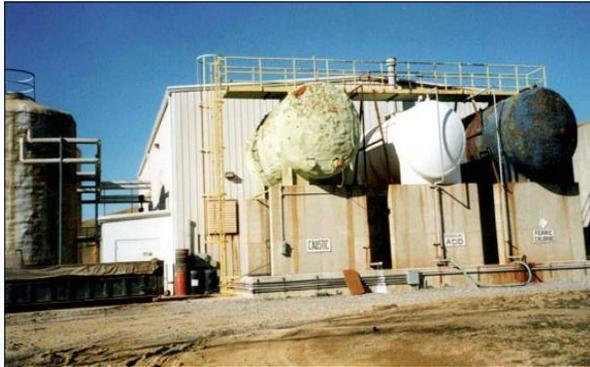
43

## Tratamento de Lixiviado por Infiltração (encharcamento)



44

## Estação de Tratamento



.45

## Área das Bombas e Coletores

- **Propósito:** Prover um ponto de coleta para as bombas de chorume
- **Localização:** função do desenho do sistema e cota mais baixa
- **Dimensionamento baseado em:**
  - Vazão de chorume
  - Tempo de bombeamento das bombas
- **Tipo:** Submersível
- **Pode ter sistemas de bombeamento redundantes ou bombas de reserva disponíveis**
- **Dimensionamento dos componentes auxiliares (elétricos) para a maior bomba prevista**

46

## Bombeamento e Lançamento



.17

## Resumo

- **Vários fatores contribuem para a geração de lixiviado, entre eles: geografia, pluviometria, composição dos resíduos, estação climática e operação do aterro.**
- **Modelagem pode ser uma ferramenta útil para estimar a geração de lixiviado tendo como base um local específico.**
- **Os componentes do sistema de coleta requer características de projeto específicas.**
- **Recircular o chorume aumenta a taxa de decomposição dos resíduos e acelera a formação de gás.**
- **Existem diversas tecnologias para tratamento do chorume, incluindo evaporação através do gás do próprio aterro.**

48