

WORKSHOP

A EVOLUÇÃO NA GESTÃO DE ATERROS SANITÁRIOS:
NOVAS ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A DRENAGEM,
MONITORAMENTO E TRATAMENTO DE CHORUME

PROJETOS, CONTROLES E MONITORAMENTO GEOTÉCNICO DE ATERROS SANITÁRIOS

Eng. Civil MSc. CLOVIS BENVENUTO

VICE-PRESIDENTE DA ABLP

DIRETOR TÉCNICO da *Geotech Geotecnia Ambiental Consultoria e Projetos LTDA.*

Realização:

COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – CIRS
COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE - SIMA
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO - GESP

SÃO PAULO – 09/12/2019



OS RESÍDUOS SÓLIDOS SÃO COMPONENTES DO SANEAMENTO BÁSICO

“SANEAMENTO SÓLIDO”

INFLUÊNCIA NO SANEAMENTO LÍQUIDO

**ÁGUA > POLUIÇÃO DOS MANANCIAIS
ESGOTO > DIFICULTA O TRATAMENTO
DRENAGEM > ENCHENTES**

**SAÚDE PÚBLICA
SERVIÇO DE UTILIDADE PÚBLICA**

1995

MANUAL DO GERENCIAMENTO INTEGRADO DO LIXO – IPT / CEMPRES

**ATERRO SANITÁRIO É O ELO ESSENCIAL PARA
QUALQUER SISTEMA DE GESTÃO E GERENCIAMENTO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS EM NOSSO PAÍS.**

2018

**CONTRIBUIÇÃO DOS PORTUGUESES SOBRE AS
SOLUÇÕES PARA TERMINAR COM OS LIXÕES EM SEU
PAÍS - DR. CARLOS MARTINS EX-MINISTRO DO AMBIENTE.**

**PARA ACABAR COM OS LIXÕES
IMPLANTAR ATERROS SANITÁRIOS.**

PESQUISA ABLP COM OCAs ESTADUAIS

RESPOSTAS DE 25 ESTADOS E O DF, EXCETO AMAPÁ

FORAM OBTIDOS OS SEGUINTE DADOS:

ATERROS SANITÁRIOS LICENCIADOS NO PAÍS: **792**

ESTUDOS EM AVALIAÇÃO PELAS OCAs : **308**

INICIO DA PESQUISA EM JULHO DE 2018 E TÉRMINO EM JANEIRO DE 2019.

SINIR 2016 – 801 AS, 1803 LIXÕES E 407 AC.

| Quantidade de Aterros Licenciados e em Avaliação por Região e Estado | | |
|--|---------------------|-----------------------|
| REGIÃO/ESTADO | ATERROS LICENCIADOS | EM AVALIAÇÃO PELO OCA |
| NORTE | | |
| Acre | 1 | 0 |
| Amapá | - | - |
| Amazonas | 0 | 1 |
| Rondônia | 7 | 0 |
| Roraima | 1 | 1 |
| Tocantins | 3 | 0 |
| Pará | 2 | 1 |
| TOTAL | 14 | 3 |
| NORDESTE | | |
| Alagoas | 4 | 0 |
| Bahia | 9 | 3 |
| Ceará | 2 | 20 |
| Maranhão | 1 | 1 |
| Paraíba | 20 | 0 |
| Pernambuco | 16 | 2 |
| Piauí | 41 | 42 |
| Rio Grande do | 20 | 10 |
| Sergipe | 1 | 1 |
| TOTAL | 114 | 79 |
| CENTRO OESTE | | |
| Distrito Federal | 1 | 0 |
| Goiás | 10 | 17 |
| Mato Grosso | 6 | 19 |
| Mato Grosso do | 11 | 12 |
| TOTAL | 28 | 48 |
| SUDESTE | | |
| Espírito Santo | 6 | 3 |
| Minas Gerais | 83 | 24 |
| Rio de Janeiro | 17 | 0 |
| São Paulo | 281 | 93 |
| TOTAL | 387 | 120 |
| SUL | | |
| Santa Catarina | 34 | 0 |
| Paraná | 187 | 38 |
| Rio Grande do Sul | 28 | 20 |
| TOTAL | 249 | 58 |
| TOTAIS | 792 | 308 |

ATERROS SANITÁRIOS - RSU

TIPOS DE RESÍDUOS E REJEITOS:

DOMICILIAR

VARRIÇÃO

PODA/CAPINA

REJEITOS DE RECICLÁVEIS E DE RCC + RV

DESASSOREAMENTO E DRENAGENS

LODOS DE ETEs E ETAs

RSS APÓS TRATAMENTO

OUTROS: COODISPOSIÇÃO – INDUSTRIAIS CLASSES II A e B

ATERROS INDUSTRIAIS

TIPOS DE RESÍDUOS

CLASSE I RESÍDUOS PERIGOSOS

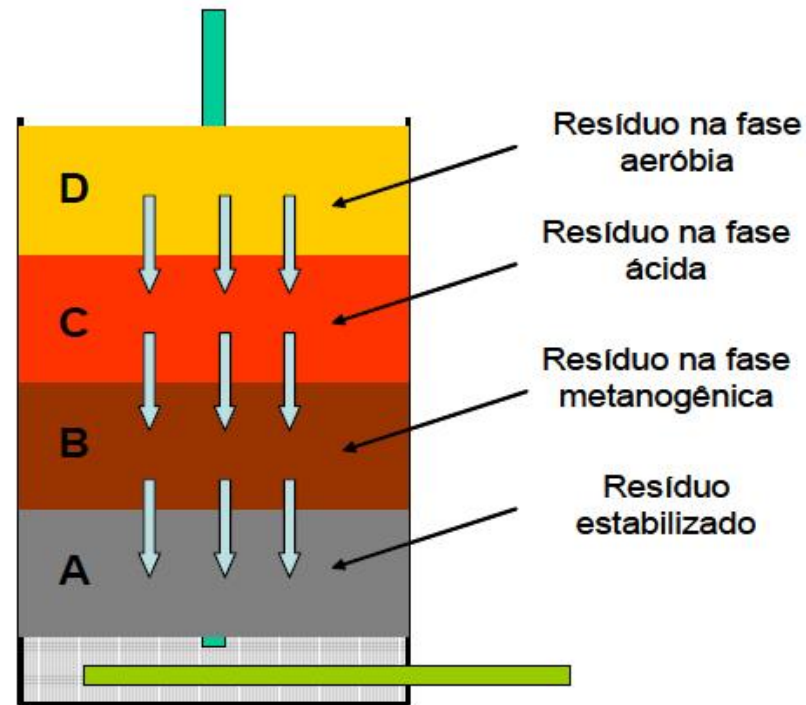
CLASSE II A E B DE ORIGEM DE ATIVIDADES INDUSTRIAIS

ATERROS DE INERTES

“TEMPORÁRIOS” - REMINERADOS

TIPOS DE ATERROS SANITÁRIOS

- ANAERÓBIOS – 99% dos casos e 100% dos aterros nacionais.
- SEMI-AERÓBIOS – Japão, Ásia(Malásia), Iran, China. Método de Fukuoka.
- AERÓBIOS – USA - Georgia



Etapas da digestão anaeróbica nas células do aterro sanitário (Souto, 2009).

ATERRO SANITÁRIO É UM EQUIPAMENTO DE “SANEAMENTO SÓLIDO”

NÃO BASTA COLOCAR A GEOMEMBRANA

**O CONTROLE DE APLICAÇÃO DA GEOMEMBRANA É
ESSENCIAL, ALÉM DE TODOS OS OUTROS
COMPONENTES.**

ATERRO SANITÁRIO É UM LOCAL PARA TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.
Prof. YASUSHI MATSUFUJI



CONSIDERAM-SE NOS PROJETOS :

SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INFILTRAÇÃO DE LIXIVIADOS
“LINERS” COMPOSTOS – SOLOS, PEAD E GCL

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS, GASES E LIXIVIADOS
SEPARAR AS ÁGUAS RESIDUAIS E AS LIMPAS

SISTEMAS OPERACIONAIS E DE COBERTURA DOS RESÍDUOS
PLANOS DE AVANÇO E DE COBERTURAS DIÁRIAS

SISTEMA DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO
GARANTIA DA ESTABILIDADE DO MACIÇO

SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE BIOGÁS
QUEIMA CENTRALIZADA E POSSÍVEL GERAÇÃO DE EE

SISTEMAS DE TRATAMENTO DOS LIXIVIADOS
ADEQUAÇÃO AOS PADRÕES DE LANÇAMENTO

SISTEMA DE ENCERRAMENTO E PÓS UTILIZAÇÃO
ESTUDOS DE REMINERAÇÃO

SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL
CONTROLE DOS EFEITOS DAS EMISSÕES E INCÔMODOS

Geotêxtil não
tecido - proteção

Geomembrana PEAD

**Camada de drenagem de
percolado**

Barreira mineral
 $k \leq 10^{-9} \text{ m/s}$

Solo local



SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE BASE, DE DRENAGEM DE CHORUME E DE GASES



Colchão contínuo
Tapete drenante



Drenagem descontínua
Espinha de peixe
Anel redundante

DIMENSIONAR!

OPERAÇÃO

DESENVOLVER O PROJETO OPERACIONAL

CONTROLE DO QUE ENTRA – TIPO DE
RESÍDUOS - LICENCIAMENTO APROVADO

COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS: DE BAIXO PARA
CIMA OU DE CIMA PARA BAIXO

PRESERVAÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE
GASES E CHORUME E DOS INSTRUMENTOS

REVER A LOGÍSTICA DO PROJETO OPERACIONAL
REGULARMENTE



ÁGUAS LIMPAS ≠ CHORUME

- PROJETO DO ATERRO SANITÁRIO
 - DRENAGEM SUPERFICIAL
 - COBERTURAS FINAL E **OPERACIONAL**
- SEPARAR AS ÁGUAS SEM CONTATO COM OS RESÍDUOS E AS QUE PRODUZEM OS LIXIVIADOS (CHORUME).

NECESSIDADE DE DESENVOLVER **COBERTURAS OPERACIONAIS “TEMPORÁRIAS”** E APRIMORAR AS **“DEFINITIVAS”**, DE FORMA A EVITAR A INFILTRAÇÃO DAS CHUVAS E MINIMIZAR A GERAÇÃO DOS LIXIVIADOS, DIMINUINDO OS PROBLEMAS DE:

- ESTABILIDADE GEOTÉCNICA
- CUSTOS DE TRATAMENTO DO CHORUME
- PROBLEMAS AMBIENTAIS

LIXIVIADOS DE A.S. SÃO RESÍDUOS (NBR 10.004/2004)

PNRS:

NÃO GERAÇÃO, MINIMIZAÇÃO

DISCIPLINA DAS ÁGUAS – DRENAGENS E COBERTURAS

RECIRCULAÇÃO – BALANÇO HÍDRICO FOR POSITIVO:

AMBIENTALMENTE SEGURA

TRATAMENTOS

CARACTERÍSTICAS LOCAIS/REGIONAIS

REUSO, RECICLAGEM

OPERAÇÃO COM UMECTAÇÃO





COBERTURAS PROVISÓRIAS OPERACIONAIS

EXISTEM VÁRIOS TIPOS DE COBERTURAS PROVISÓRIAS:

Solos e misturas

Cinzas e pós de fornos de cimento

Resíduos triturados de veículos

Resíduos da construção civil e de demolição

Composto

Material verde (podas)

Sedimentos

Lodos

Pneus triturados

Espumas

Geossintéticos

Solos e gramíneas

Como conclusão genérica:

Há uma redução geral na utilização de recursos naturais, superiores aos utilizados na produção das geomembranas, **redução das emissões** e sem consequências estruturais negativas de caráter geotécnico, aliás, ao contrário, benefícios estruturais positivos principalmente na operação.

PORÉM É PASSÍVEL DE PROJETO OPERACIONAL

MINIMIZAÇÃO EFETIVA DE IMPACTOS E

ANÁLISE DE CUSTOS.





MONITORAMENTOS

Inserção do AS no meio ambiente com benefícios sanitários e de utilidade pública, porém com eventuais incômodos nos arredores – MONITORAR OS IMPACTOS.

Monitoramentos em geral prescritos:

- Fauna e flora – avifauna como indicador ambiental
- Vetores de doenças
- Odores, ruídos e tráfego
- Riscos de acidentes
- Controle ambiental de obras
- Escavações, erosões e assoreamento
- Geotécnico – estrutural
- Lixiviados e Gases
- Águas superficiais e subterrâneas
- Patrimônio cultural nacional

MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

Conceituação

Baseado na instrumentação geotécnica de obras de terra, principalmente de barragens de terra e taludes.

Monitoramento geotécnico, deve fornecer:

- Pressões neutras de líquidos e gases;
- Deslocamentos horizontais e verticais superficiais do aterro;
- Vazões de drenos de fundação;
- Pluviometria local;
- Inspeções periódicas.

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS RESÍDUOS

Areias sem coesão - Argila mole sem atrito. Velocidade de carregamentos. Tensões efetivas. Fibras. Anisotropias. Variações. Mohr Coulomb.

PORO-PRESSÕES

Redes de fluxo. Valores pontuais. Leis e variações.

MASSA ESPECÍFICA

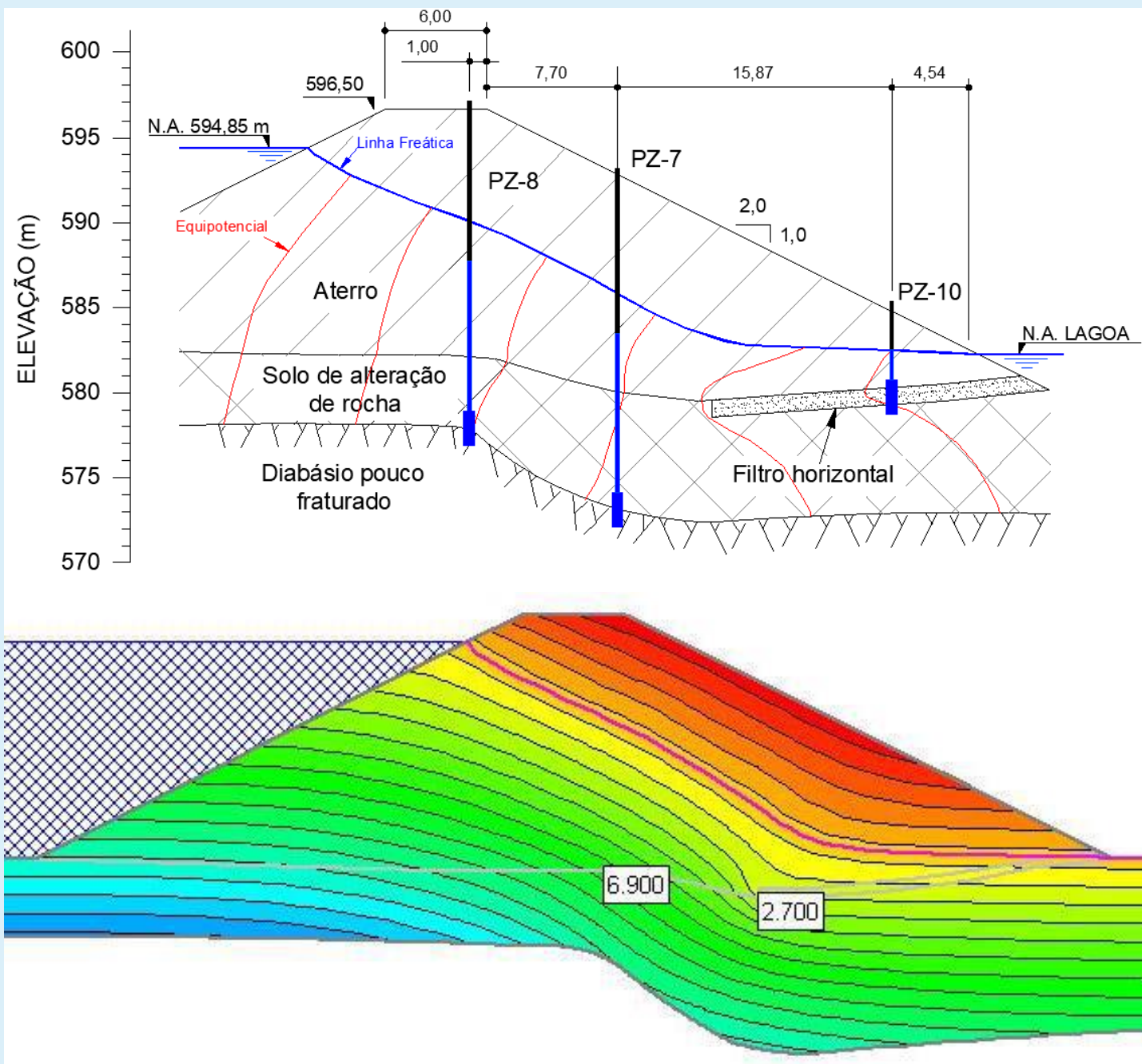
Difícil avaliação. Composição gravimétrica.

GEOTECNIA

Fundações. Ombreiras. Drenagem de fundação – nascentes.

CONDIÇÕES DE ANÁLISE

Projeto - Período construtivo - Final do período construtivo -
Longo tempo após a construção - Lixão.



GRANULOMETRIA DO 'LIXO' - RSU

Granulometria dos RSU

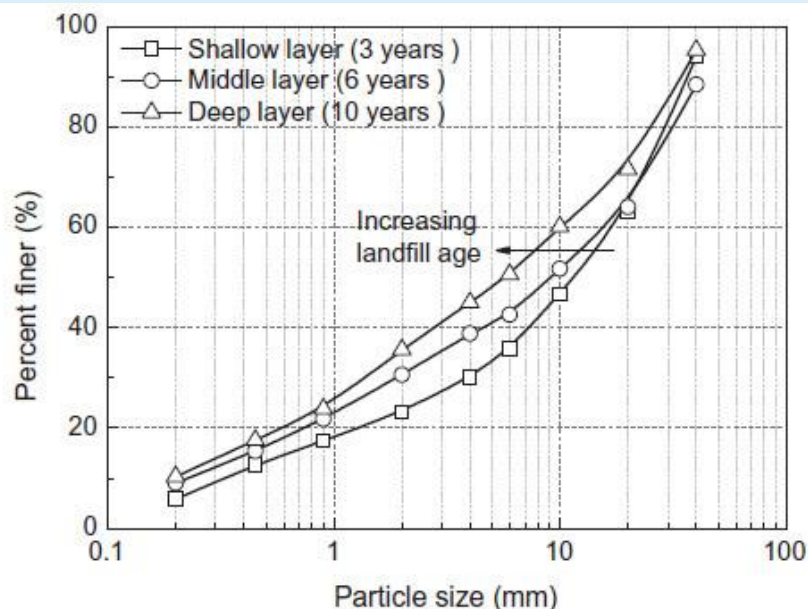


Fig. 2. Particle size distribution of landfilled MSW from a landfill in Beijing, China.

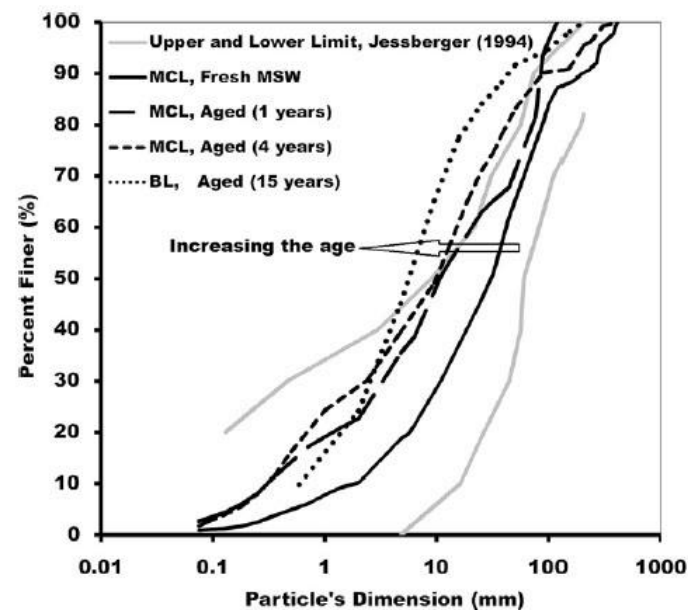
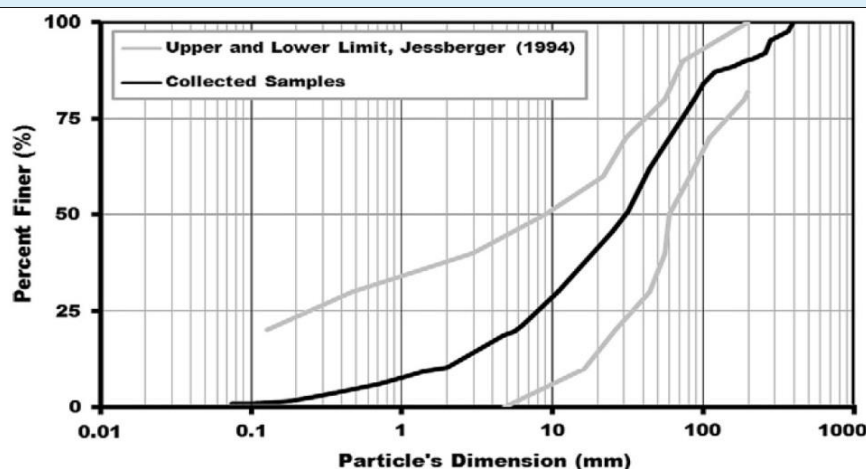


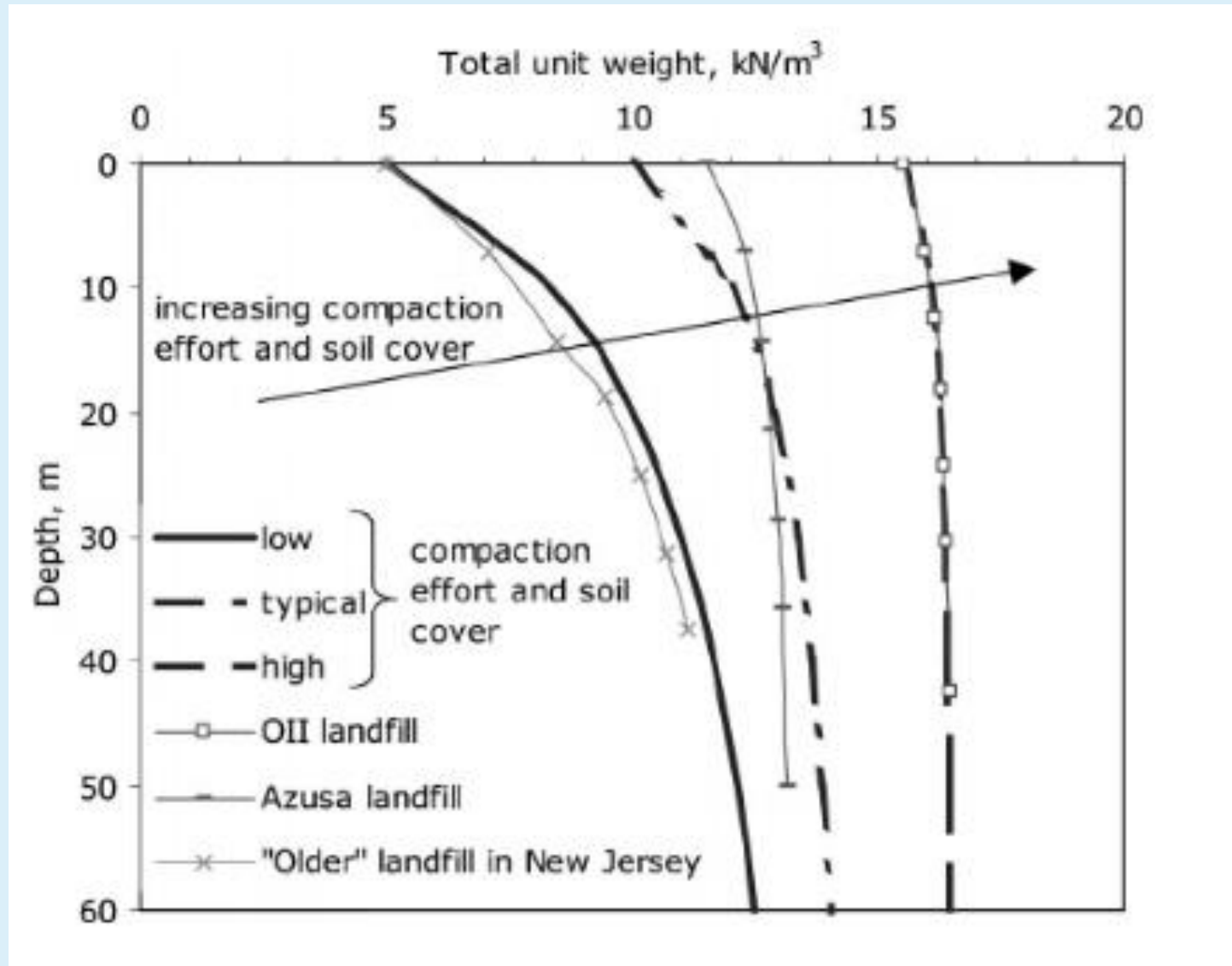
Fig. 4. Particles size distribution of waste samples.

Material granular:
“PEDREGULHO ARENOSO
COM POUCAS PEDRAS
E FINOS”



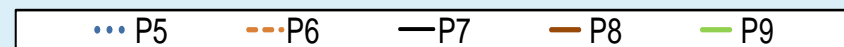
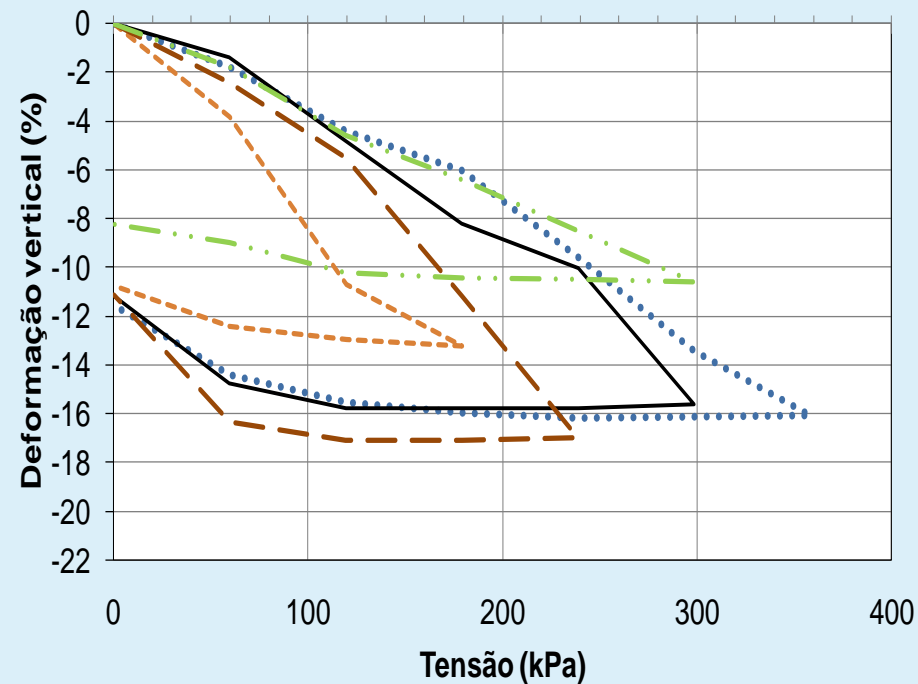
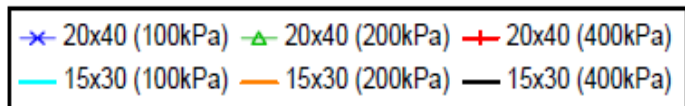
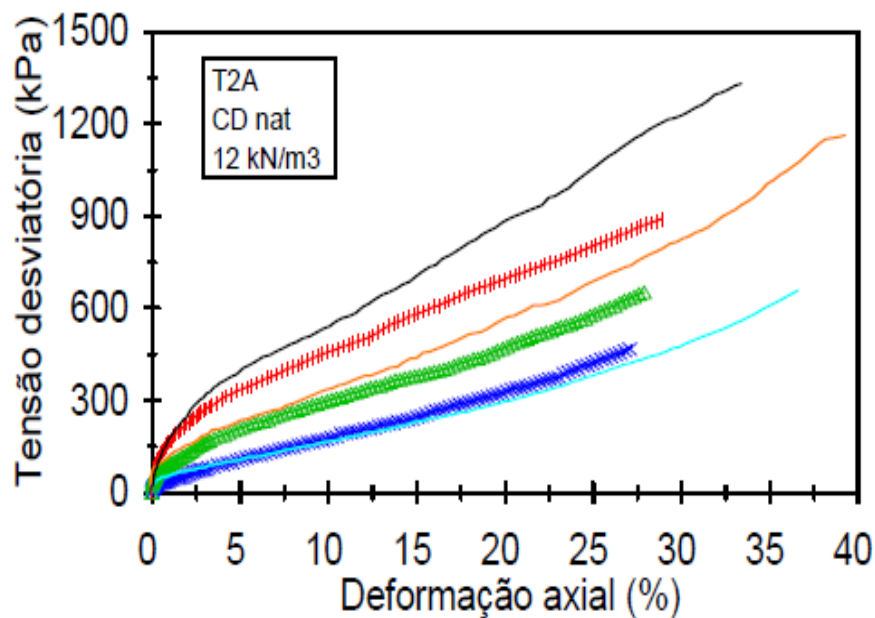
MASSA ESPECÍFICA DO ‘LIXO’

MASSA ESPECÍFICA DOS RESÍDUOS



RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ‘LIXO’ E DEFORMABILIDADE

Comportamento tensão-deformação



RETROANÁLISE DA RUPTURA DO ATERRO SANITÁRIO BANDEIRANTES

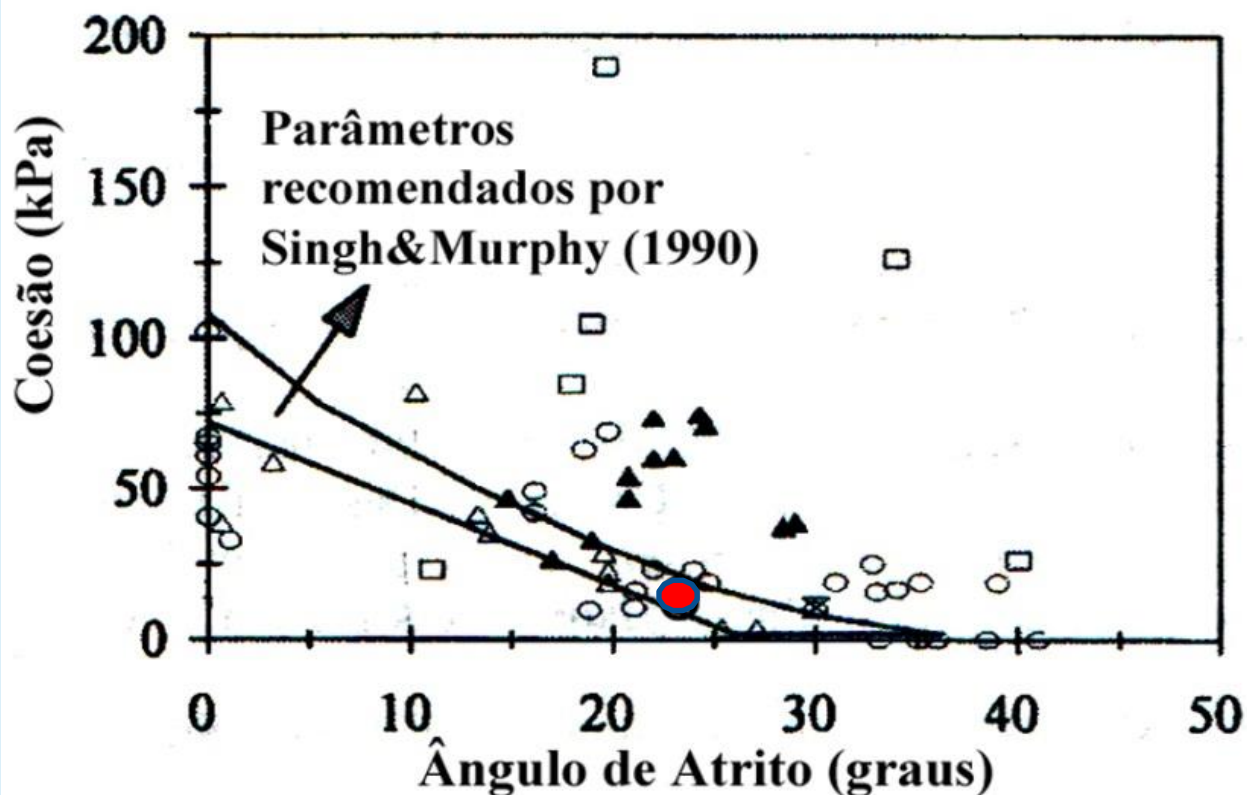
Publicado no REGEO 1991 e na Revista Construção 1991.

ÂNGULO DE ATRITO EFETIVO $\phi' = 22^\circ$

COESÃO DAS FIBRAS $c' = 13,5 \text{ kPa}$

MASSA ESPECÍFICA $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

$r_u = 0,6$ na ruptura

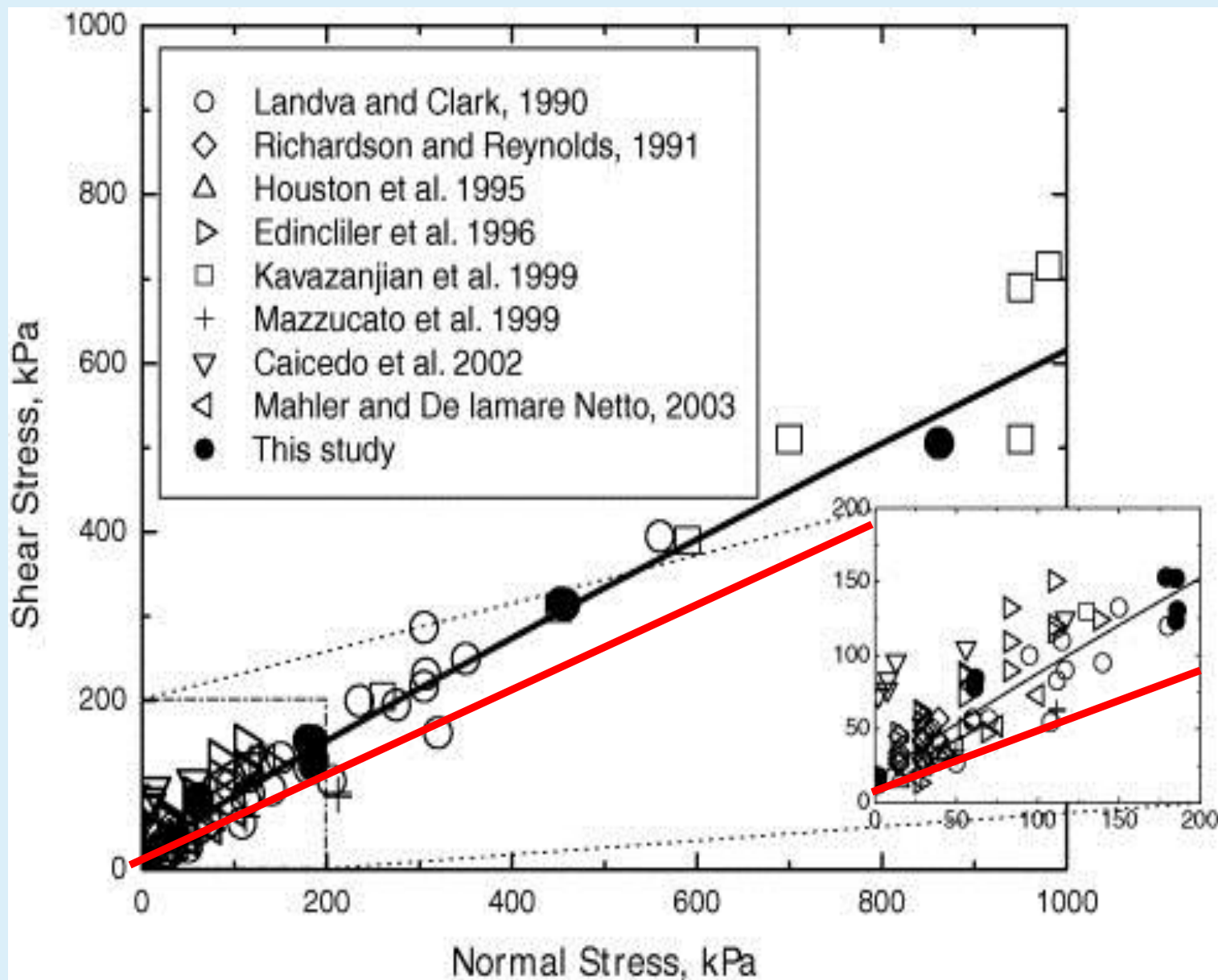


- | | |
|--------------------------------|--|
| △ Retroanálise (1) | ▲ AS Bandeirantes (2) |
| ○ Ensaio Laboratório (1) | ⊗ Retroanálise AS Bandeirantes Benvenuto & Cunha, 1991 |
| □ Köing & Jessberger, 1997 (2) | ⊠ Grisolia et al, 1995 (2) |

(1) Dados compilados por Singh & Murphy (1990), Gabr & Valero (1995) e Köing & Jessberger (1997)

(2) Ensaios triaxiais, 20% de deformação

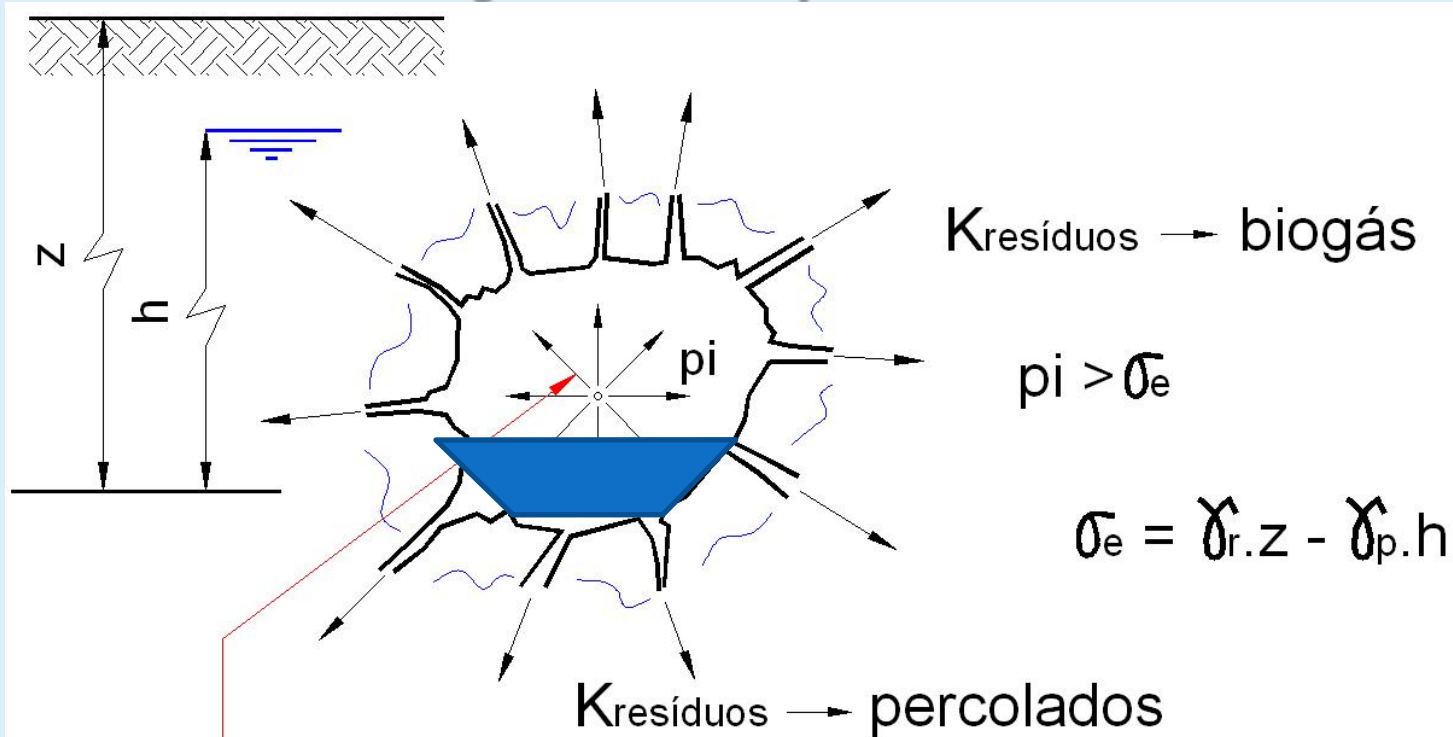
Resistência ao cisalhamento



Zekkos et al. (2010)

PORO-PRESSÕES

Esquema das oclusões, “bolhas”, Bolsões de gases Lençóis suspensos

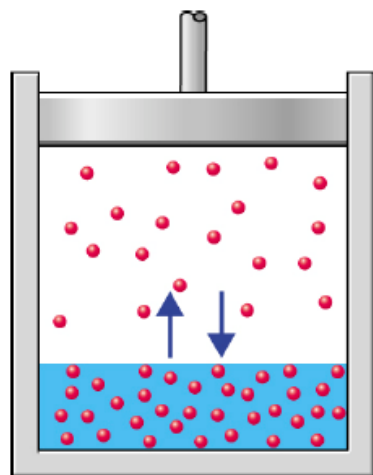


**GERAÇÃO DE BIOGÁS -
DECOMPOSIÇÃO DE M.O.**

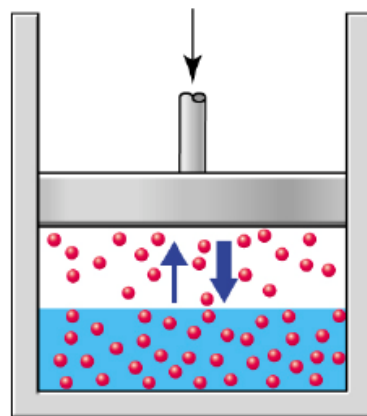
$PV = nRT$, com n aumentando



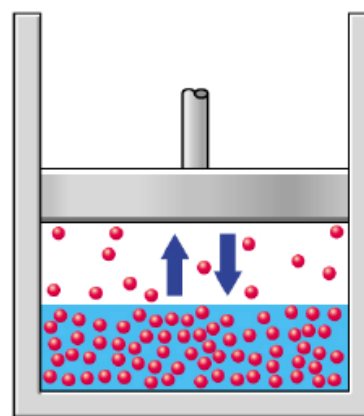
Lei de Henry, foi proposta em 1802 por William Henry a fim de esclarecer a solubilidade dos gases em líquidos. A solubilidade de um gás dissolvido em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial do gás acima do líquido.



(a)



(b)

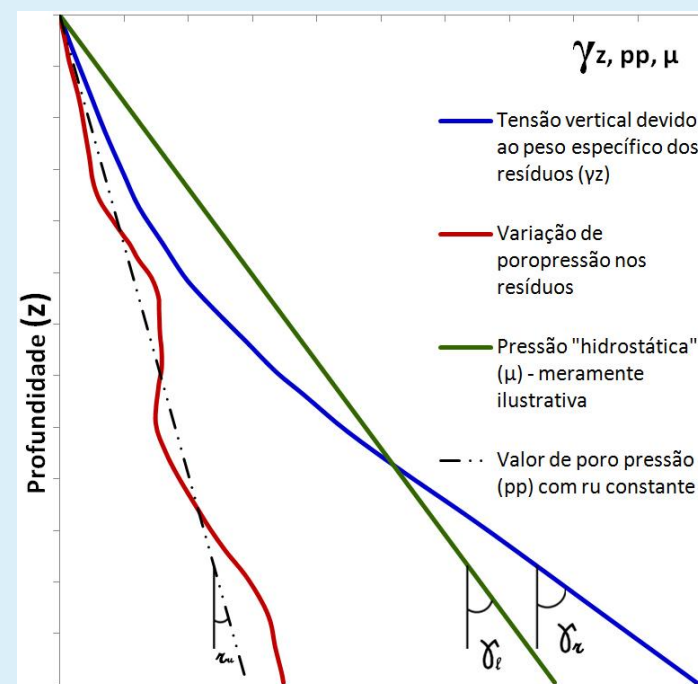
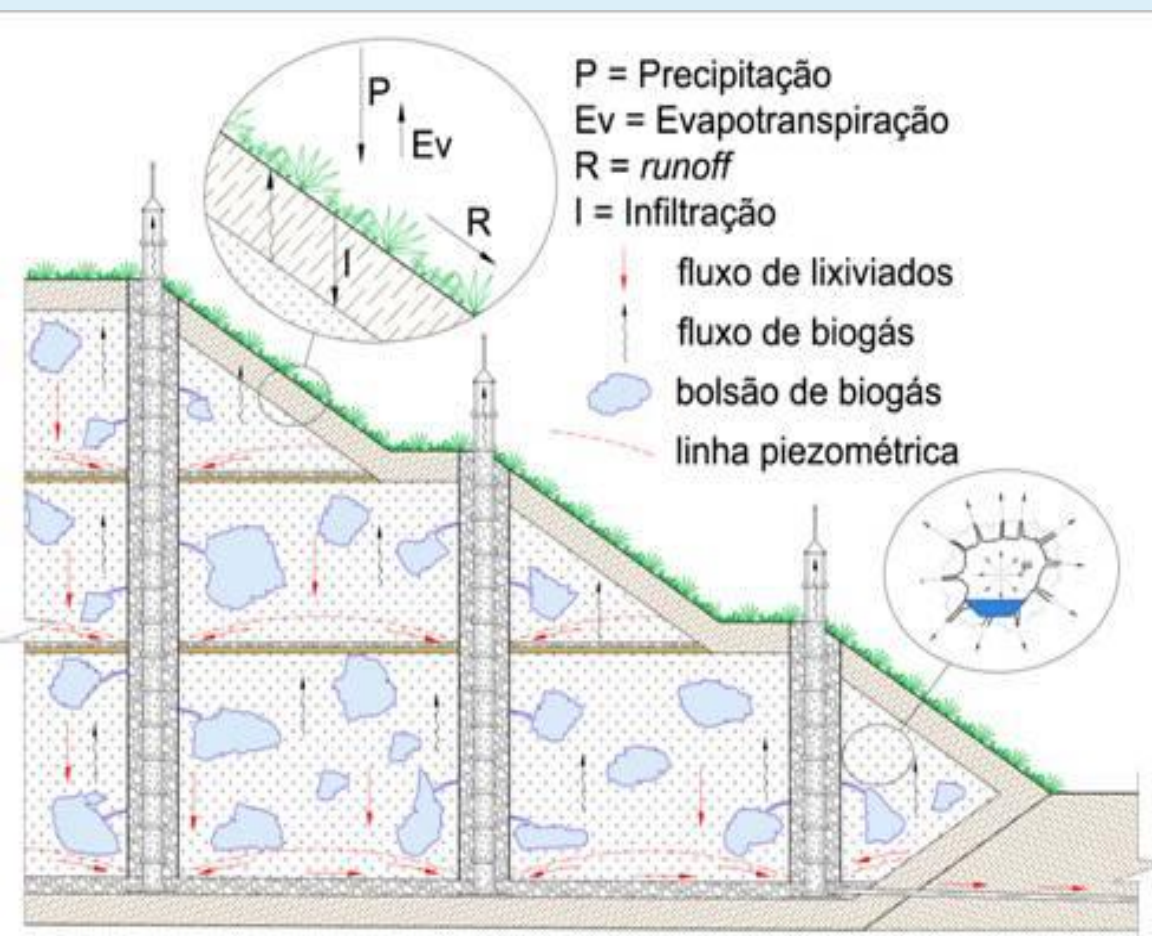


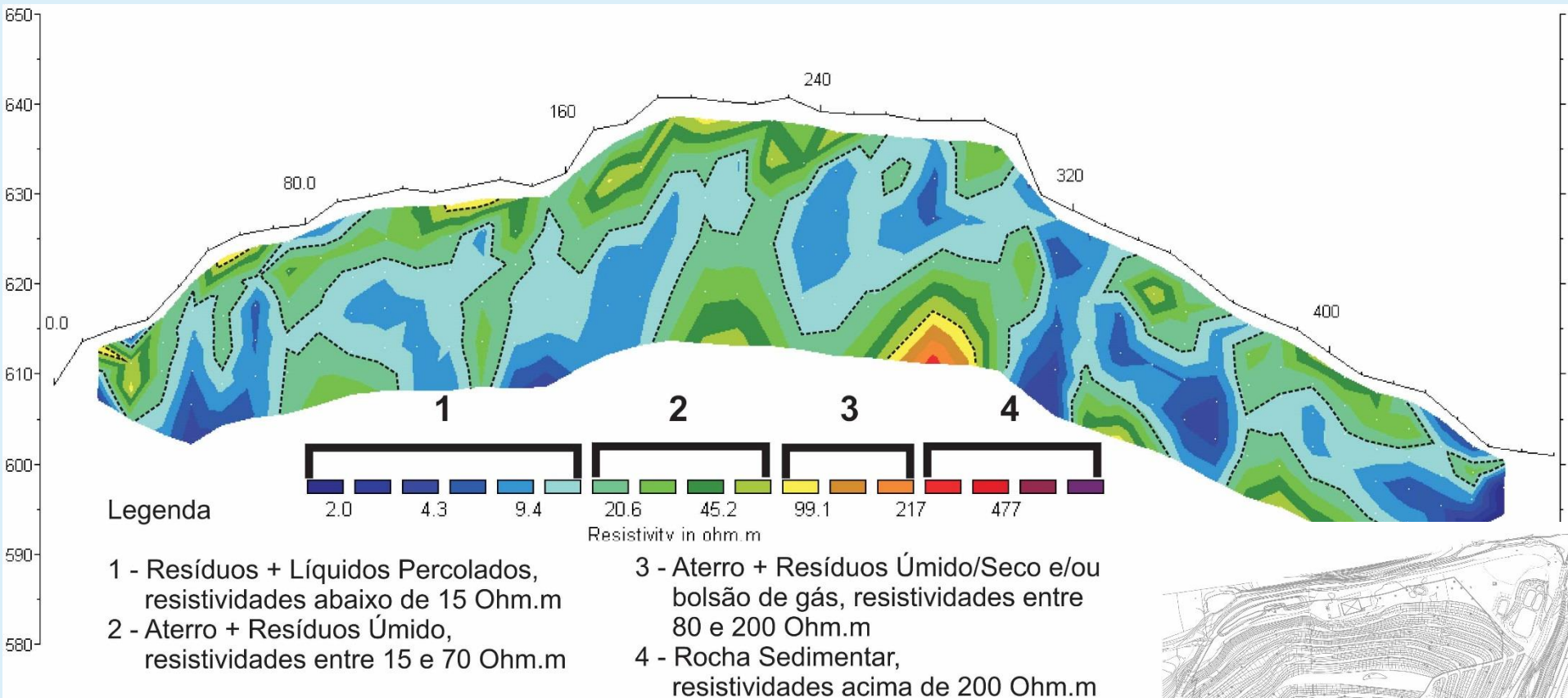
(c)

$$P.V/T = \text{cte.}$$

$$P.V = n.R.T$$

Desenvolvimento de pressões neutras

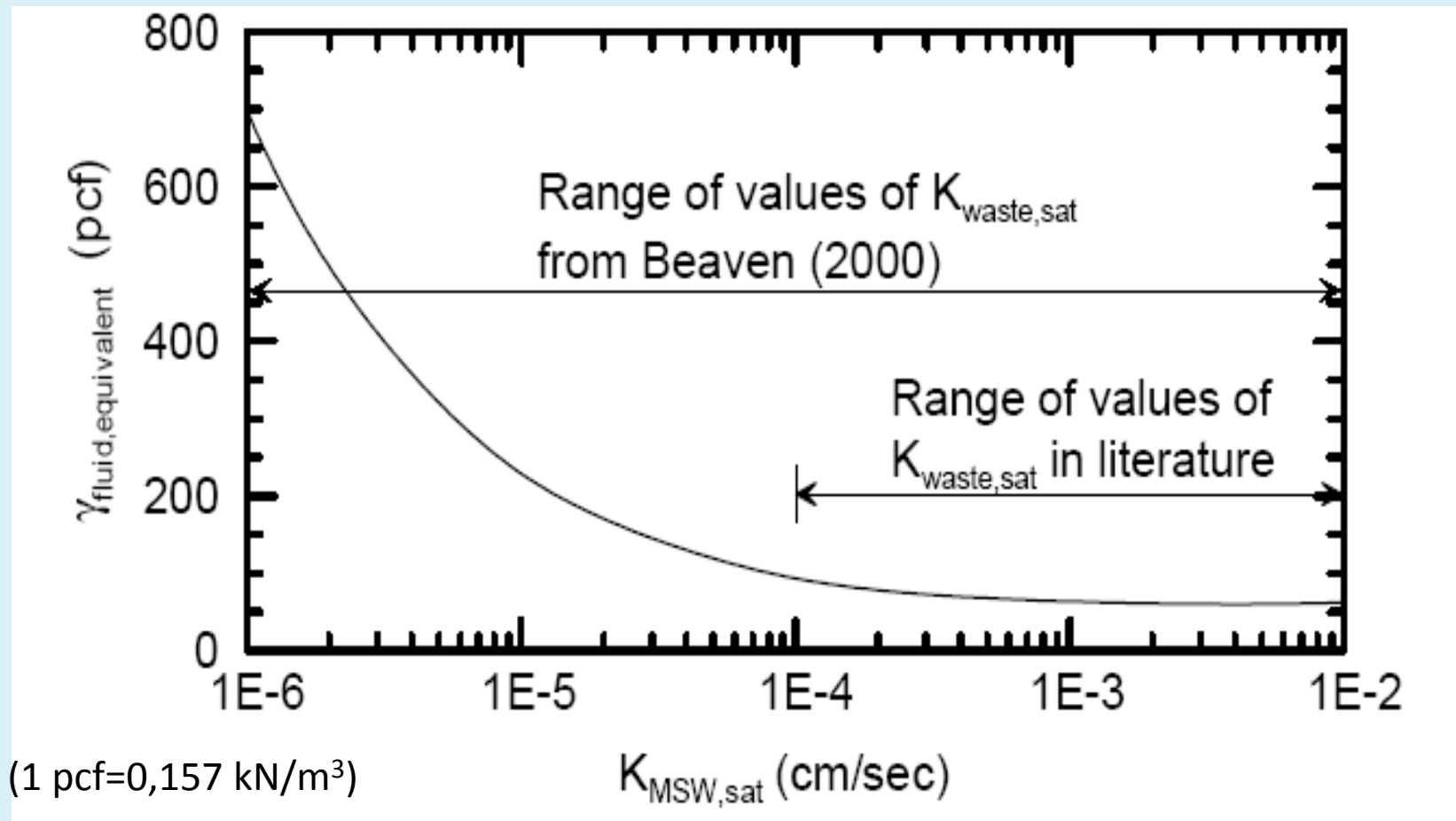




PERMEABILIDADE

PROPOSIÇÕES

AUMENTO DO PESO ESPECÍFICO EQUIVALENTE DOS FLUIDOS INTERSTICIAIS.
(Merry e Kavazanjian, SWANA, 2006).



INSTRUMENTAÇÃO

PIEZÔMETROS

- **PIEZÔMETROS ELÉTRICOS**

- CORDA VIBRANTE
- STRAIN GAUGE

- **PIEZÔMETROS MECÂNICOS**

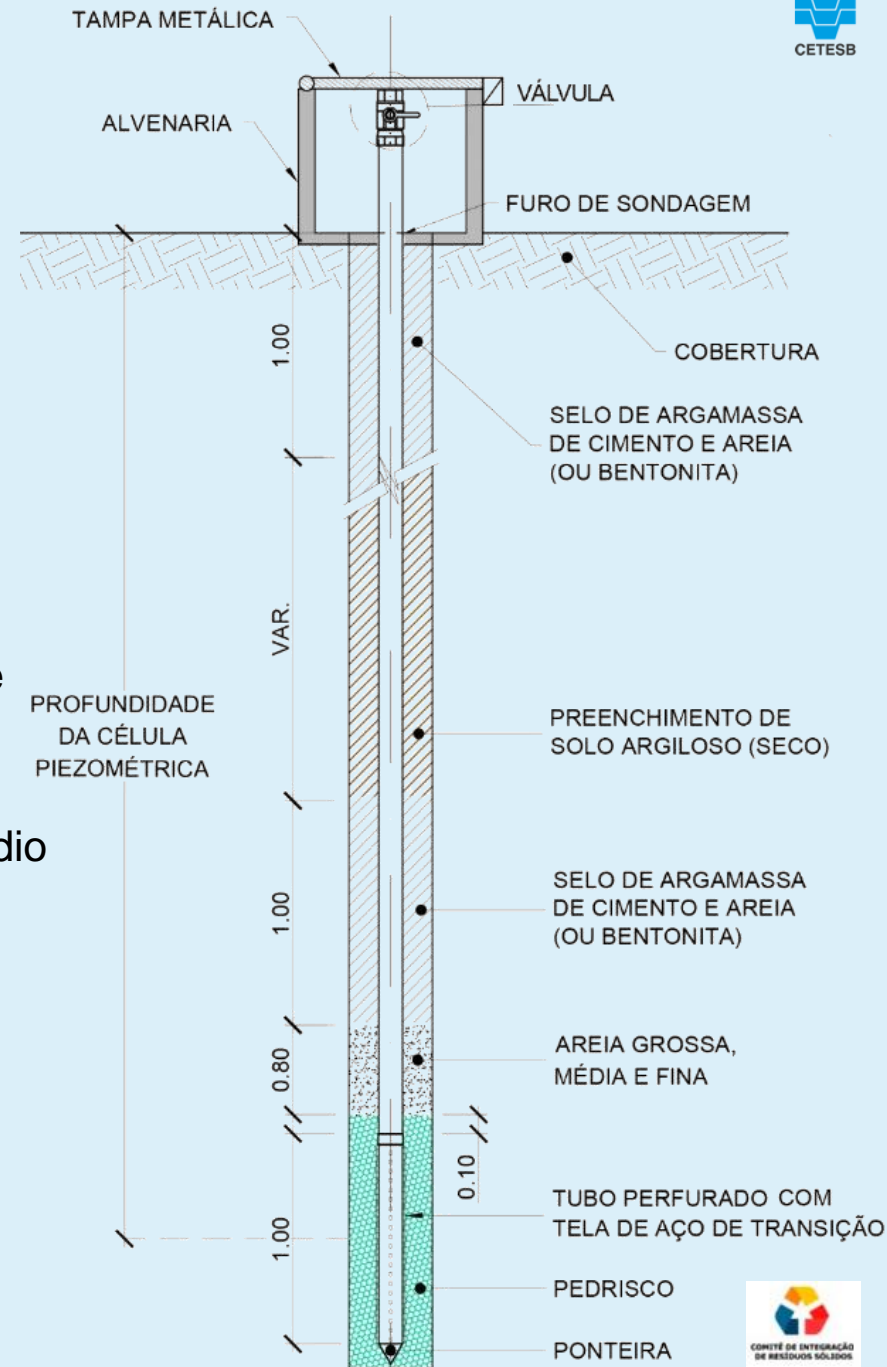
- PNEUMÁTICOS
- HIDRÁULICOS
- DE TUBO ABERTO
 - STAND PIPE
 - SIFONADO

PIEZÔMETROS MECÂNICOS

C) TUBO ABERTO

➤ **STAND PIPE – P. EX. TIPO GEOTECH**

- ✓ Instalação em furos de sondagem;
- ✓ Tem *time lag* devido a variações de volume para leitura;
- ✓ Identificam a predominância do tipo de poropressão na leitura – LIQUIDO E GÁS;
- ✓ Resultados da perfuração como subsídio de resistência – ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO;
- ✓ São mais econômicos e rápidos de instalar.



PIEZÔMETROS TIPO “STAND PIPE”

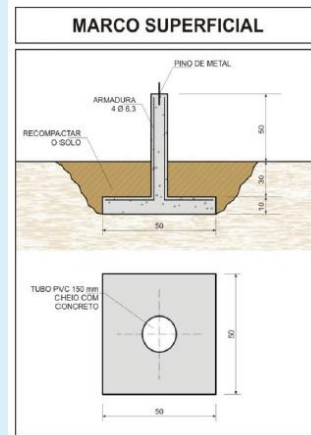


PROGRAMA DE OPERACIONALIDADE DE PIEZÔMETROS EM ATERROS SANITÁRIOS – POPAS - POP

OBJETIVO:

- Estabelece os corretos procedimentos de instalação, desenvolvimento, leituras, interpretação dos resultados e manutenção dos piezômetros, em função do que é importante ser observado.
- O **POP** é uma prestação de serviços que a Geotech realiza em aterros sanitários em piezômetros instalados ou em instalação, proporcionando possíveis recuperações de funcionamento e interpretação correta das leituras, para compor com as análises de estabilidade geotécnica dos maciços de resíduos.

MARCOS SUPERFICIAIS



Registrar, por acompanhamento topográfico, as movimentações da massa de resíduos

Análise da velocidade dos deslocamentos, é feita plana (2D, x e y) e espacial (3D, x, y e z)

Análise Bidimensional Plana (x,y)

Alguns marcos superficiais podem apresentar um comportamento que “foge” do esperado logicamente por se deslocarem para a parte interna do aterro, no sentido contrário da inclinação do talude em que estão localizados. Esta condição pode ser chamada de Comportamento Direcional Contra Talude.

Em caso contrário, se o marco superficial apresentar um deslocamento bidimensional “para fora” do aterro, no mesmo sentido da inclinação do talude em que está localizado, pode-se dizer, para efeito de análise, que o mesmo apresenta Comportamento Direcional Normal.

MODELAGEM NUMÉRICA

ANÁLISE DE ESTABILIDADE GEOTÉCNICA

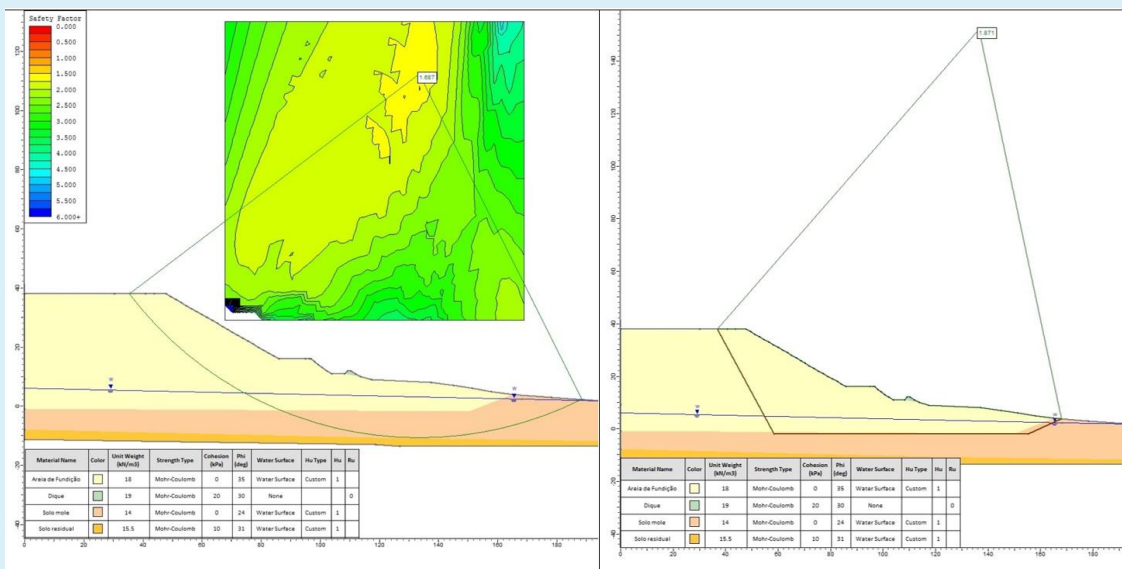


Figura 8-2. Fatores de Segurança para Seção 01 considerando-se as simulações de superfície de ruptura circular (à esquerda FS=1,7) e não circular (à direita FS=1,9).

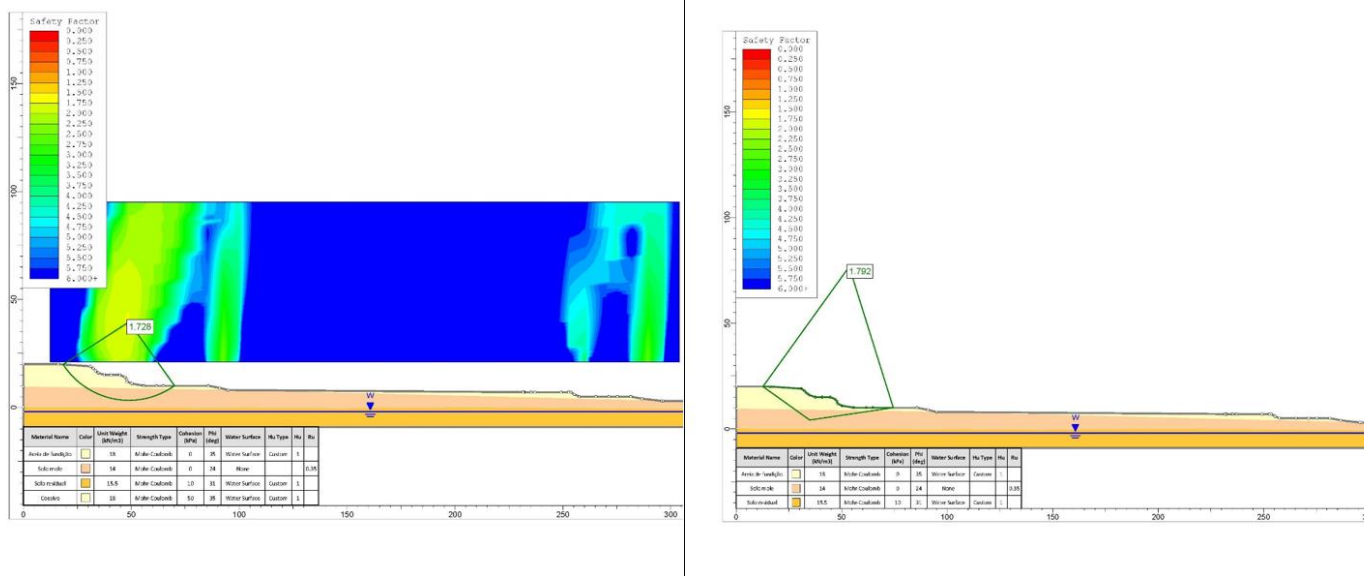


Figura 8-18. Fatores de Segurança para Seção 15 considerando-se as simulações de superfície de ruptura circular (à esquerda FS=1,7) e não circular (à direita FS=1,8).

+

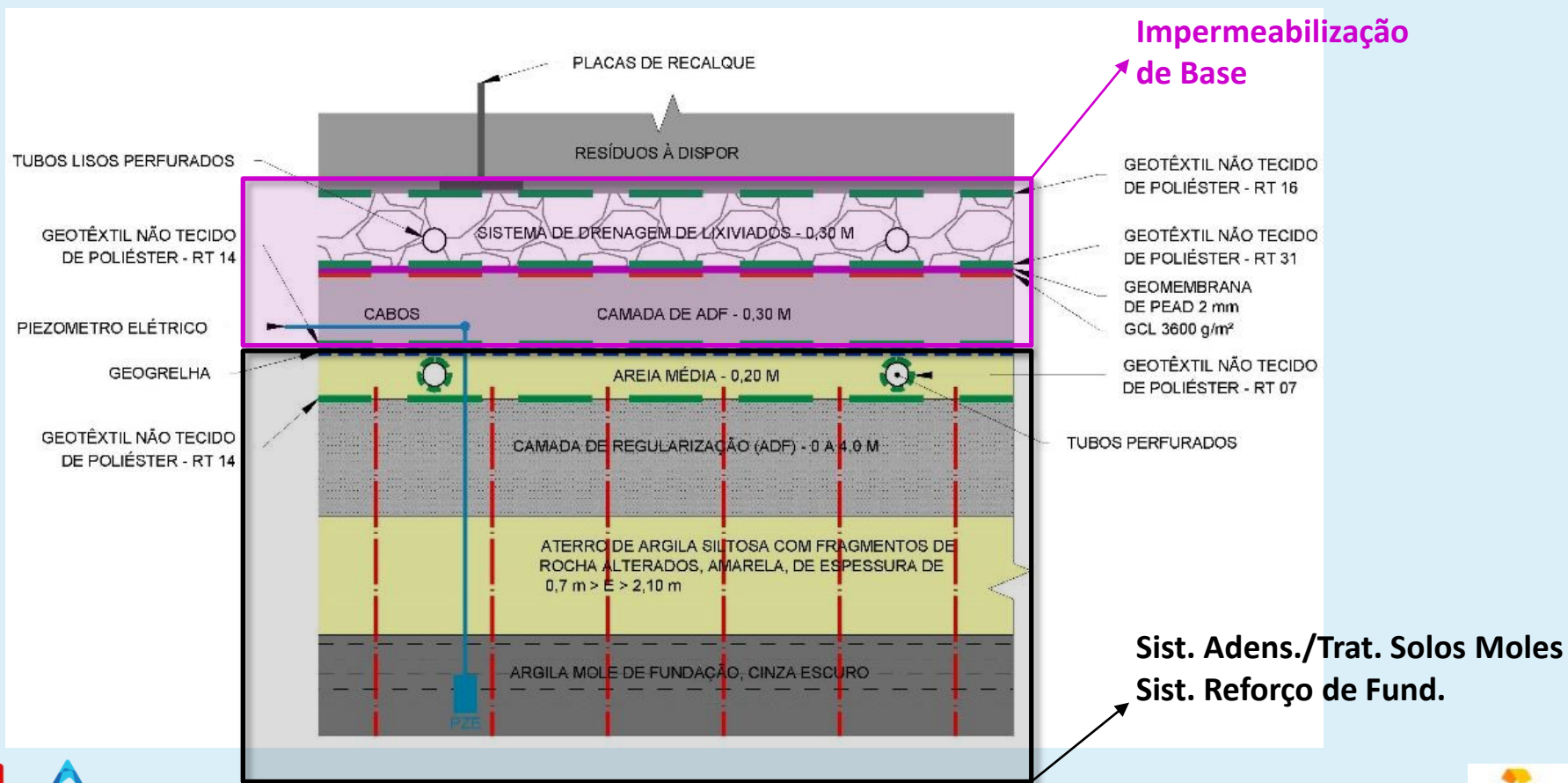
- **PLUVIOMETRIA LOCAL**
- **CONTROLE DE VAZÕES DE CHORUME**
- **INSPEÇÕES TÉCNICAS**

PREVISIBILIDADE PERIÓDICA DE DESEMPENHO

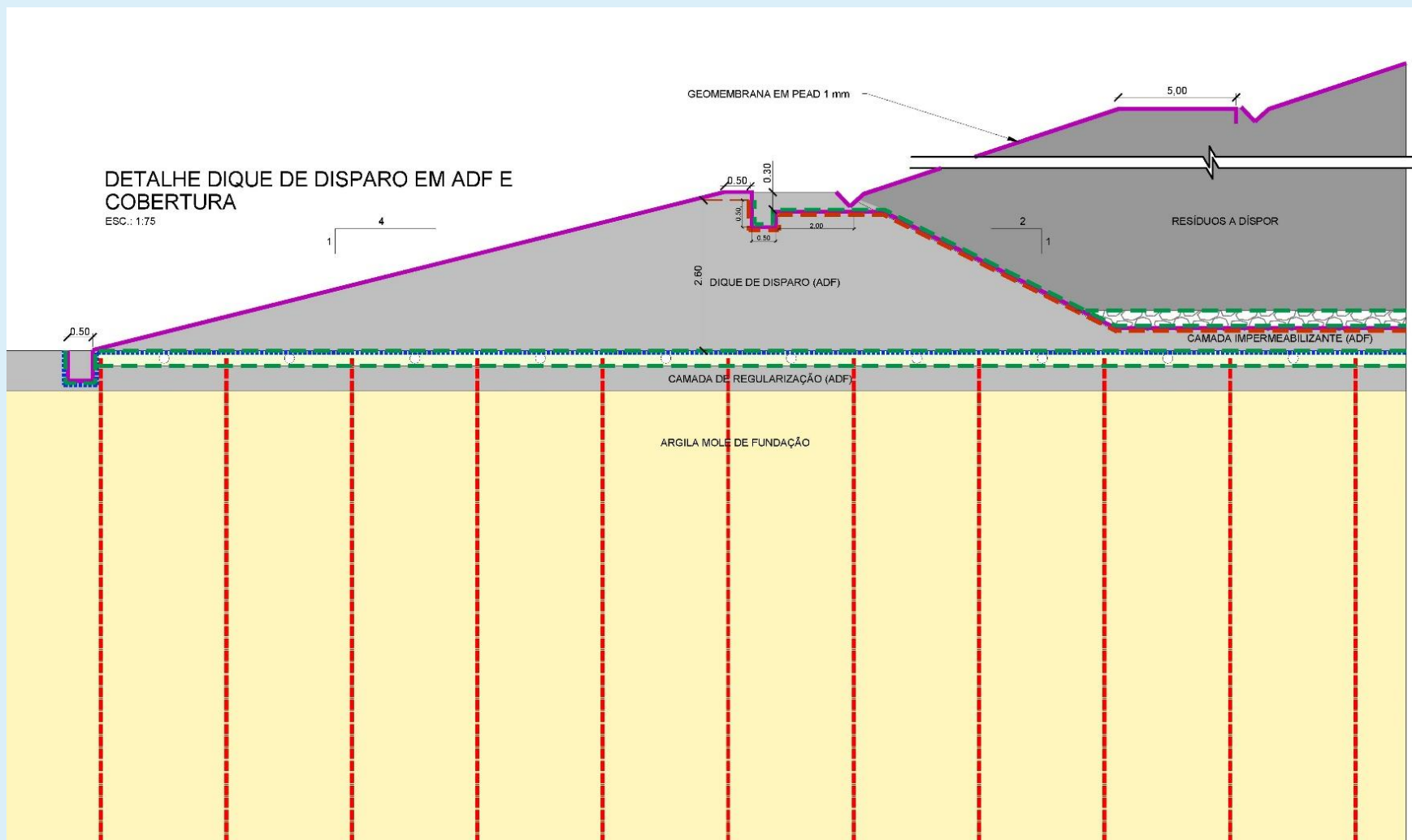
CASE DE INSTRUMENTAÇÃO E PROTEÇÃO

Concepção tecnológica para implantação da base

- Sistema de Impermeabilização de base
- Sistema de Adensamento - Tratamento de Solos Moles e Sistema de Reforço de Base



SEÇÃO TÍPICA

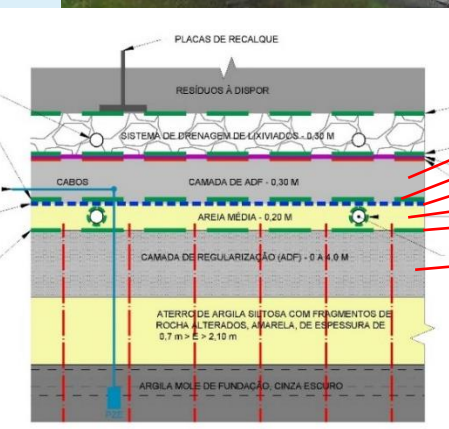
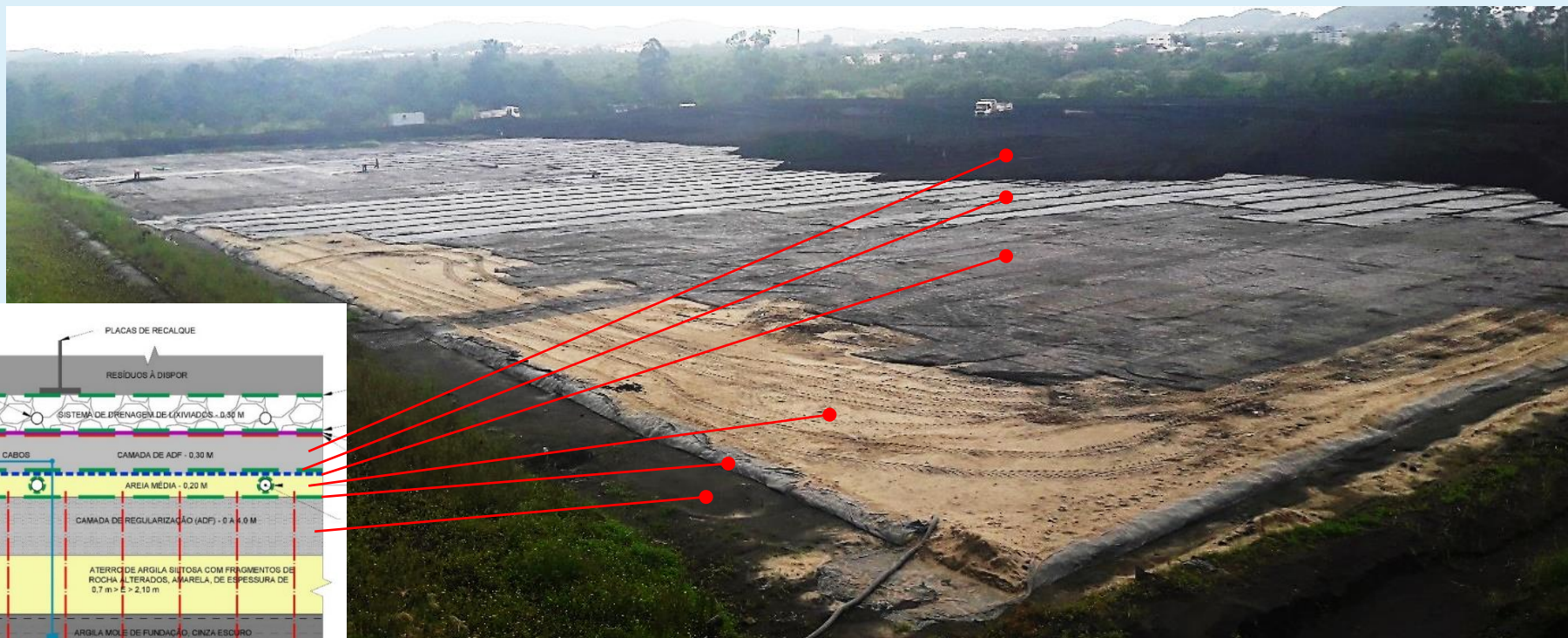


Sistema de Reforço de Fundação

- Geogrelha tecida de fios de poliéster de alta tenacidade de resistência a tração na faixa larga, RT de 200 kN/m;
- Camada de areia média de 0,20 m de espessura; e
- Geotêxtil não tecido, RT 14



SISTEMA DE ADENSAMENTO E TRATAMENTO DOS SOLOS MOLES + SISTEMA DE REFORÇO DE FUNDAÇÃO (IMPLANTAÇÃO)



Ferramentas = Instrumentos do Monitoramento Geotécnico

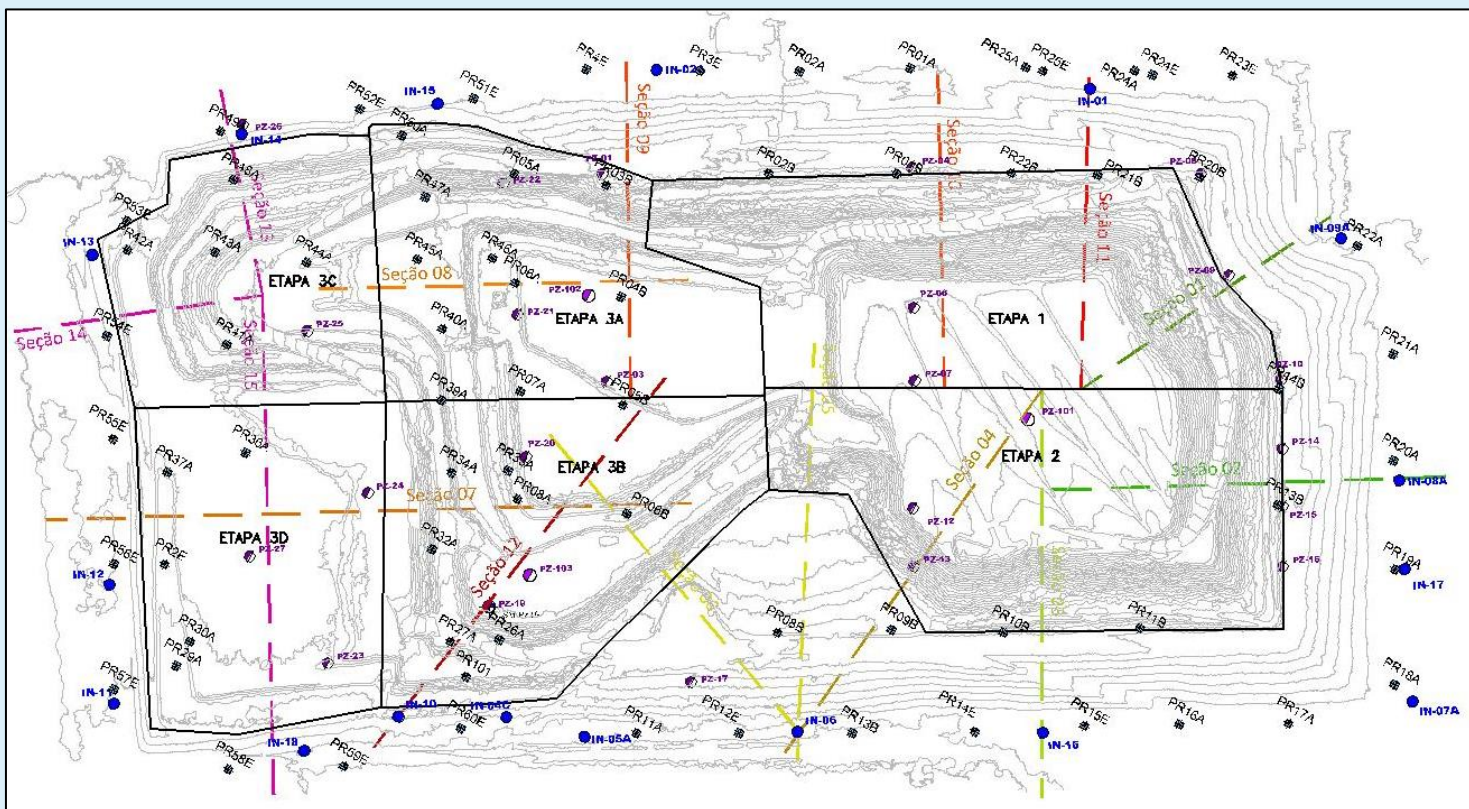
72 placas de recalque;

23 piezômetros elétricos;

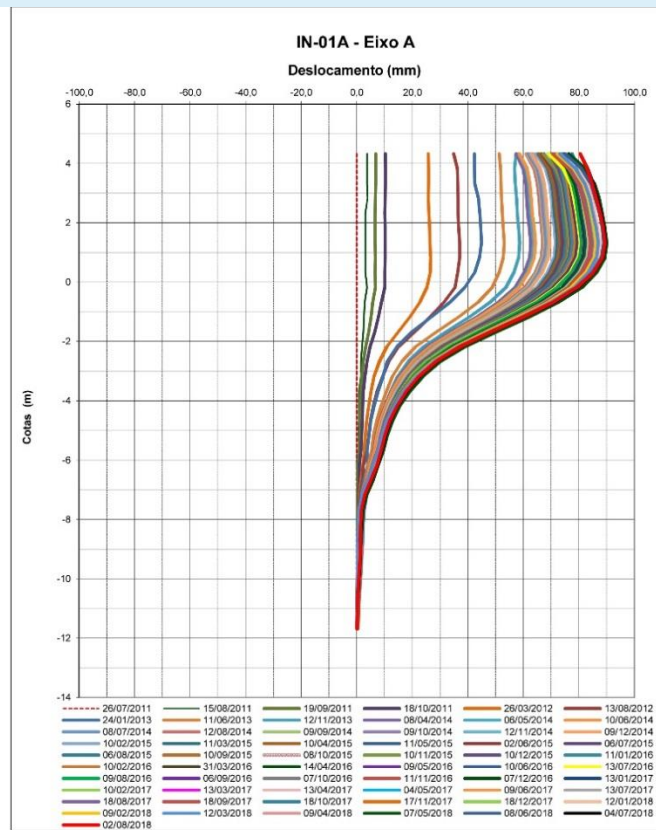
3 piezômetros stand pipe;

17 Inclinômetros;

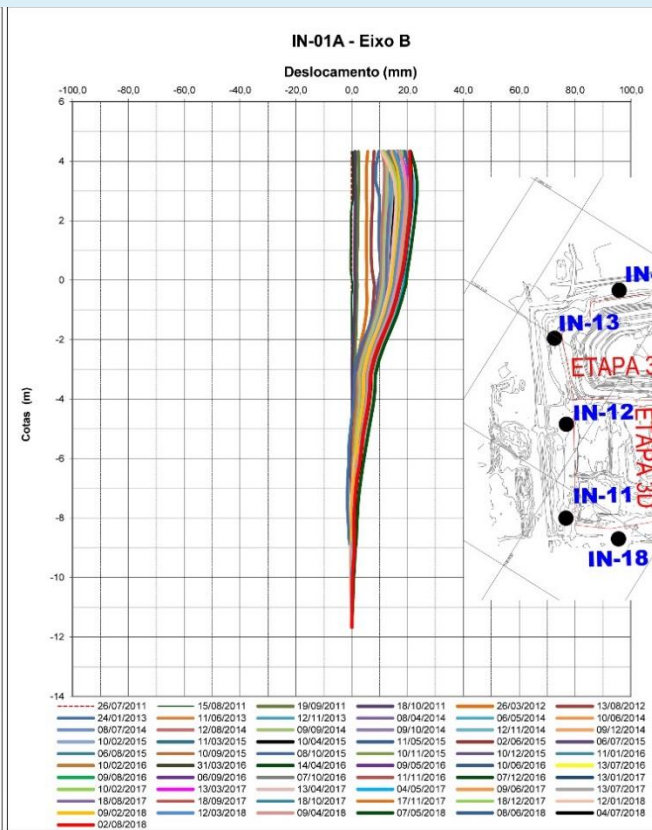
**15 Seções de
Análise de
Estabilidade**



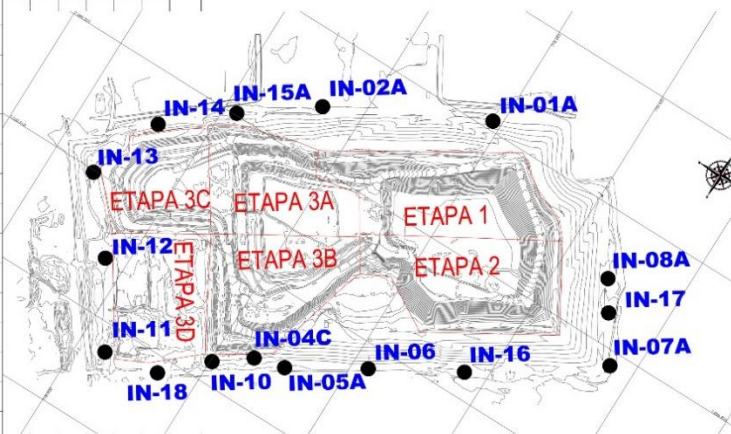
**Monitoramento
Mensal**



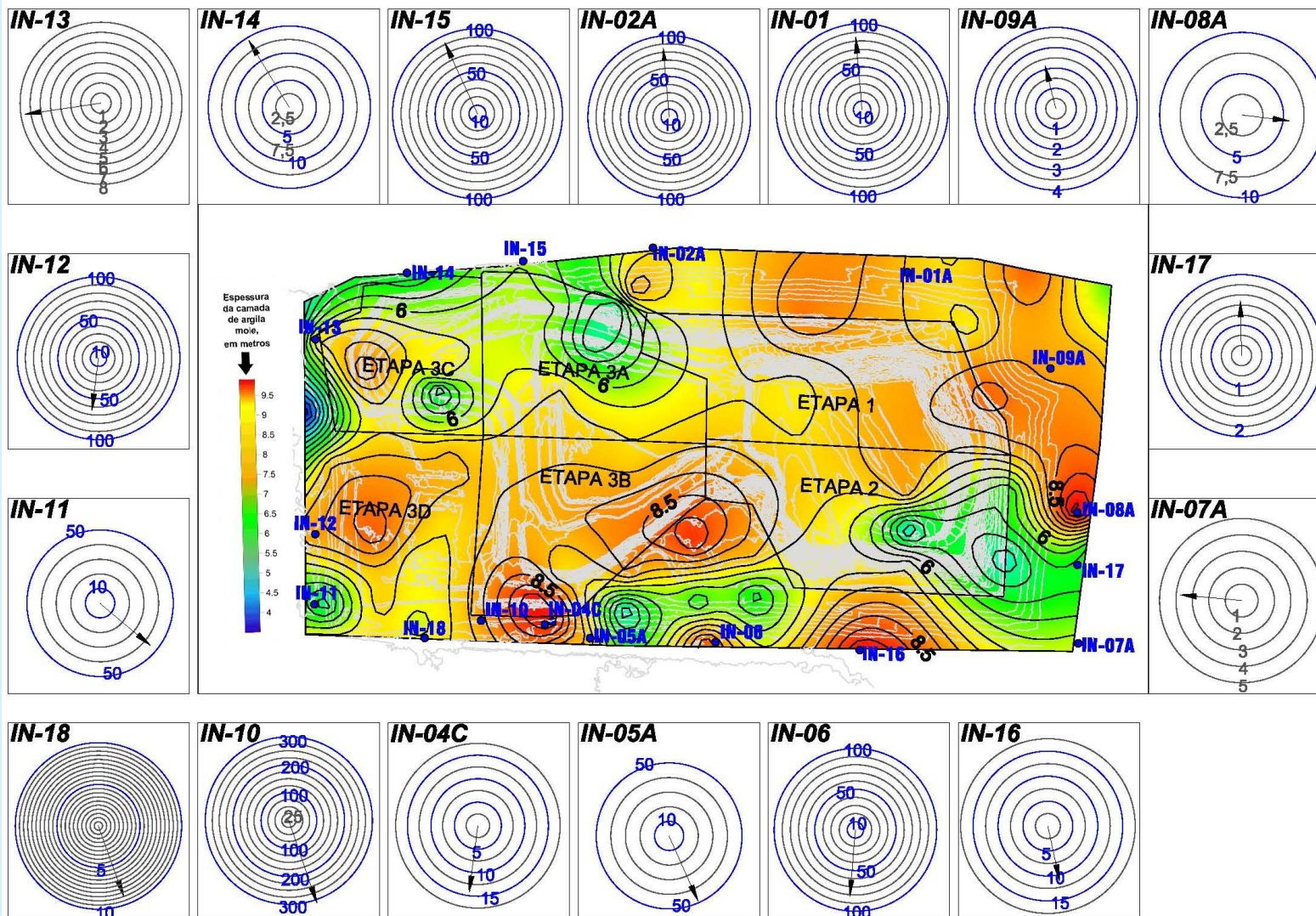
Leitura Inicial: 26/07/2011



Leitura Inicial: 26/07/2011



Leituras de deslocamento dos eixos A e B do Inclínômetro IN-01A – Etapa 1



Instalados **17 inclinômetros** com leituras de deslocamentos mensalmente

Locação dos inclinômetros em operação – março de 2019 (em azul), vetores resultantes de deslocamento acumulado desde a primeira leitura em milímetros (setas pretas), curvas de isoespessura da argila mole em metros (em preto).

ANÁLISE DE ESTABILIDADE GEOTÉCNICA

(15 SEÇÕES SÃO ANALISADAS)

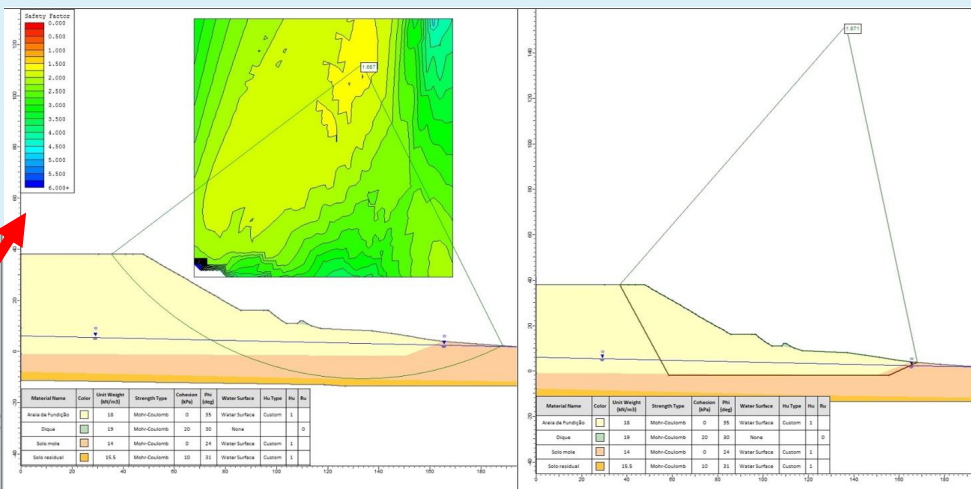
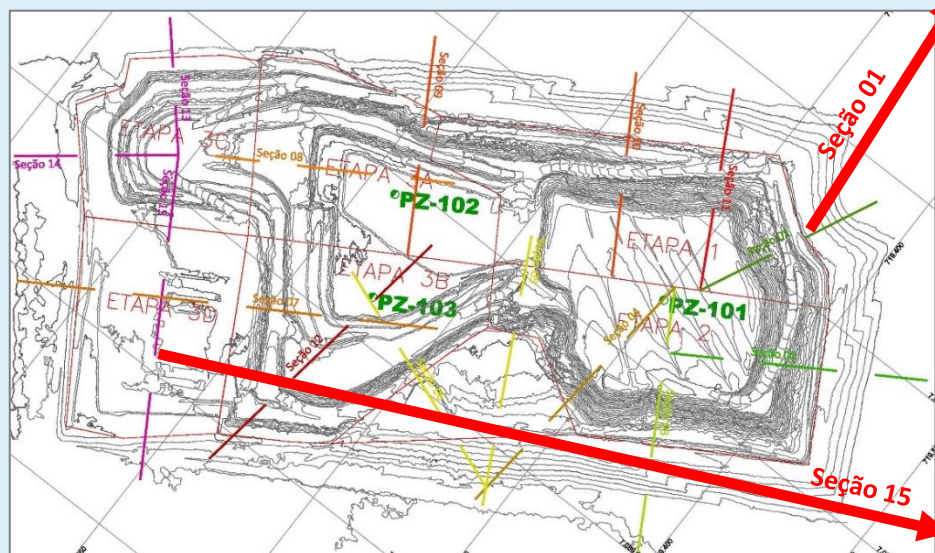


Figura 8-2. Fatores de Segurança para Seção 01 considerando-se as simulações de superfície de ruptura circular (à esquerda FS=1,7) e não circular (à direita FS=1,9).

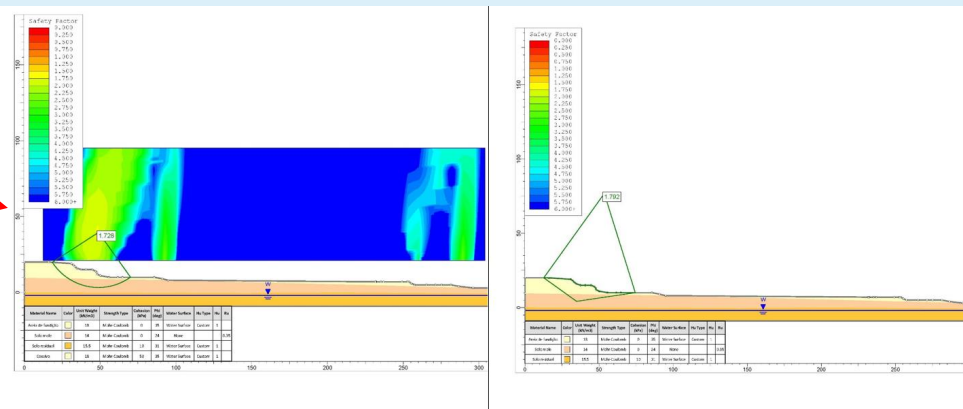


Figura 8-18. Fatores de Segurança para Seção 15 considerando-se as simulações de superfície de ruptura circular (à esquerda FS=1,7) e não circular (à direita FS=1,8).

USO DE “VANTS” NO MONITORAMENTO GEOTÉCNICO DE ATERROS SANITÁRIOS



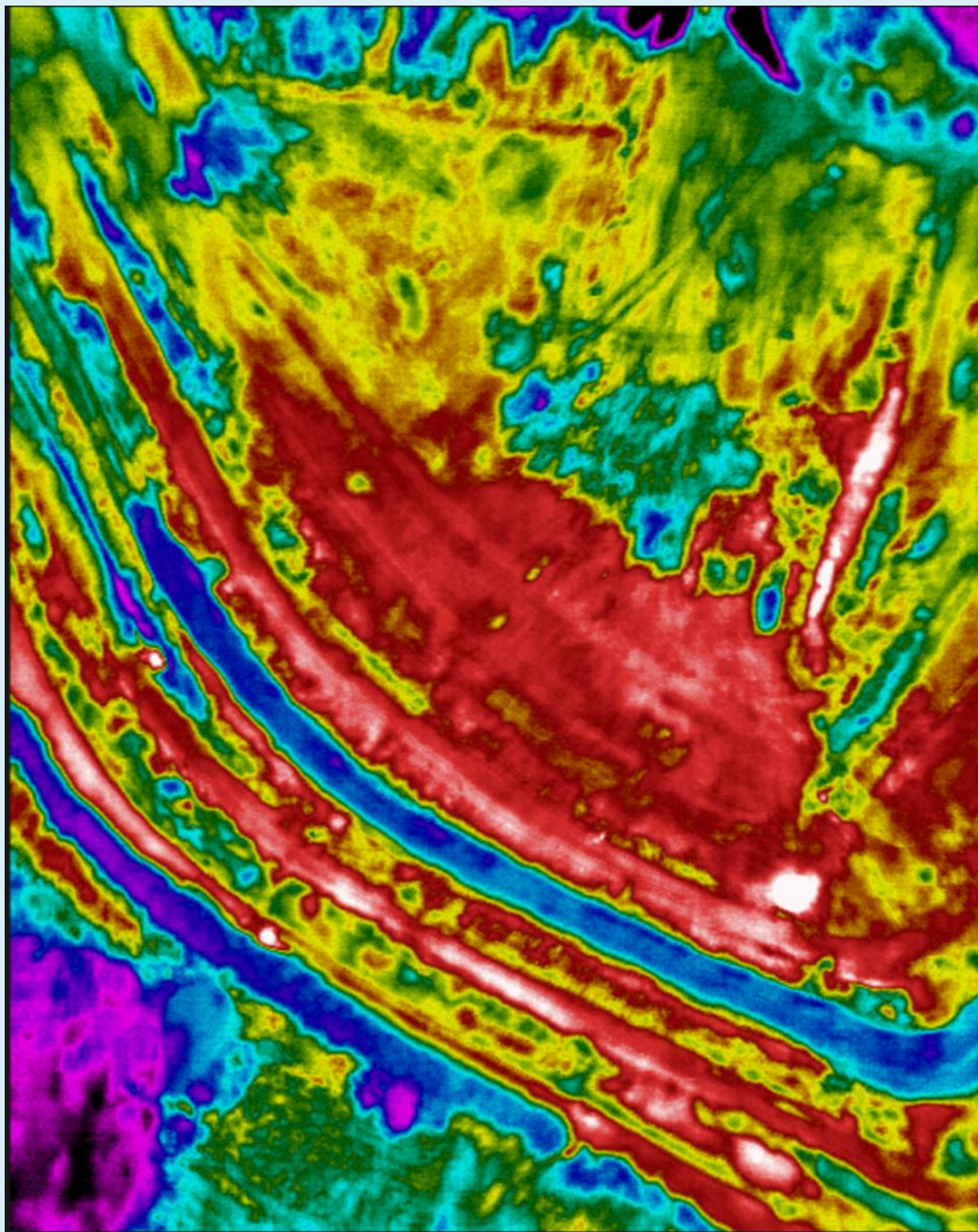
VANT = veículo aéreo não tripulado











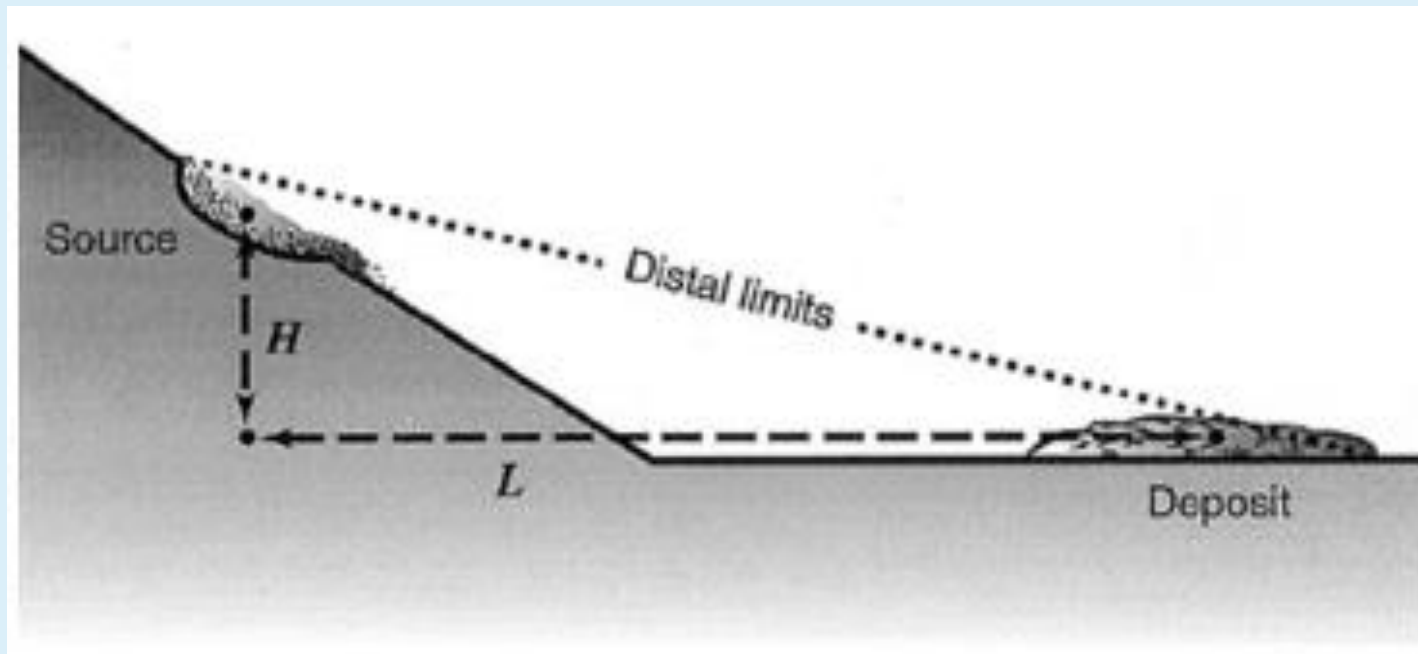
RUPTURAS

Como rompe um “aterro sanitário”

Tipos e modos de rupturas de aterros sanitários.

- Úmidas: com fluxo de resíduos, com $L/H > 2$.
- Secas: com $L/H \leq 2$

Avaliar os riscos envolvidos.



RUPTURA ÚMIDA



RUPTURA SECA



Pela atenção

Muito obrigado.

Eng. Clovis Benvenuto

clovis@geotech.srv.br 11 9 9930 3825

GEOTECH 11 3742-0804