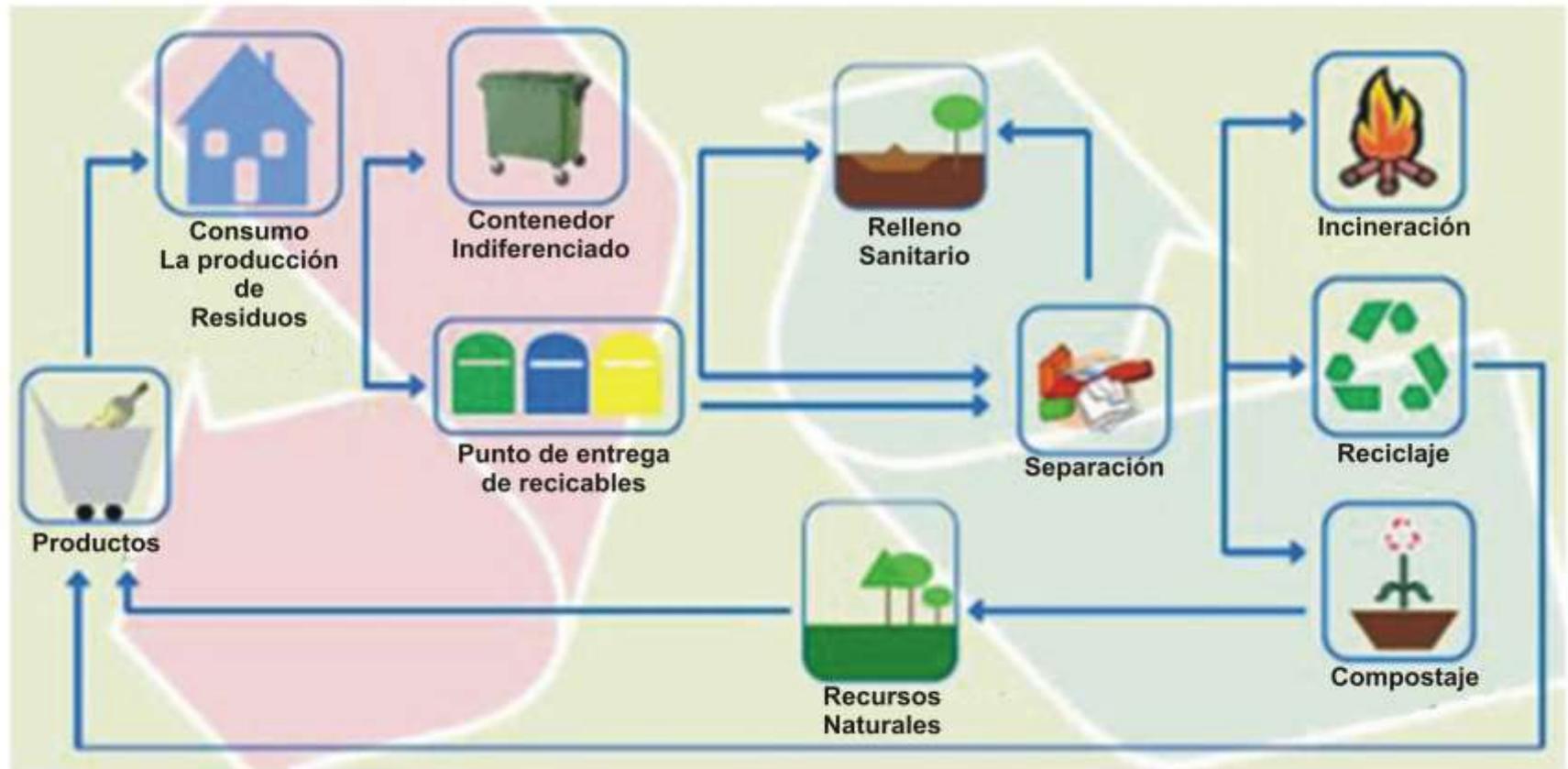


# ***“PROYECTO Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS”***

*Ing. Civil, MSc. Francisco José Pereira de Oliveira*

1. Situación Actual de la Disposición Final de los RSU en las principales Regiones del País
2. Recuperación de los Vertederos Inadecuados
3. Proyecto, Implantación e Operación de Rellenos Sanitarios
4. Geosintéticos: Aplicaciones en Barreras Impermeables de Base
5. Rellenos Sanitarios: Supervisión
6. Rellenos Sanitarios de Pequeño Porte
7. Biogás en los Rellenos Sanitarios
8. Factores que afectan la Calidad Operacional de los Rellenos
9. Aprendiendo con Desastres

# DESTINACIÓN FINAL



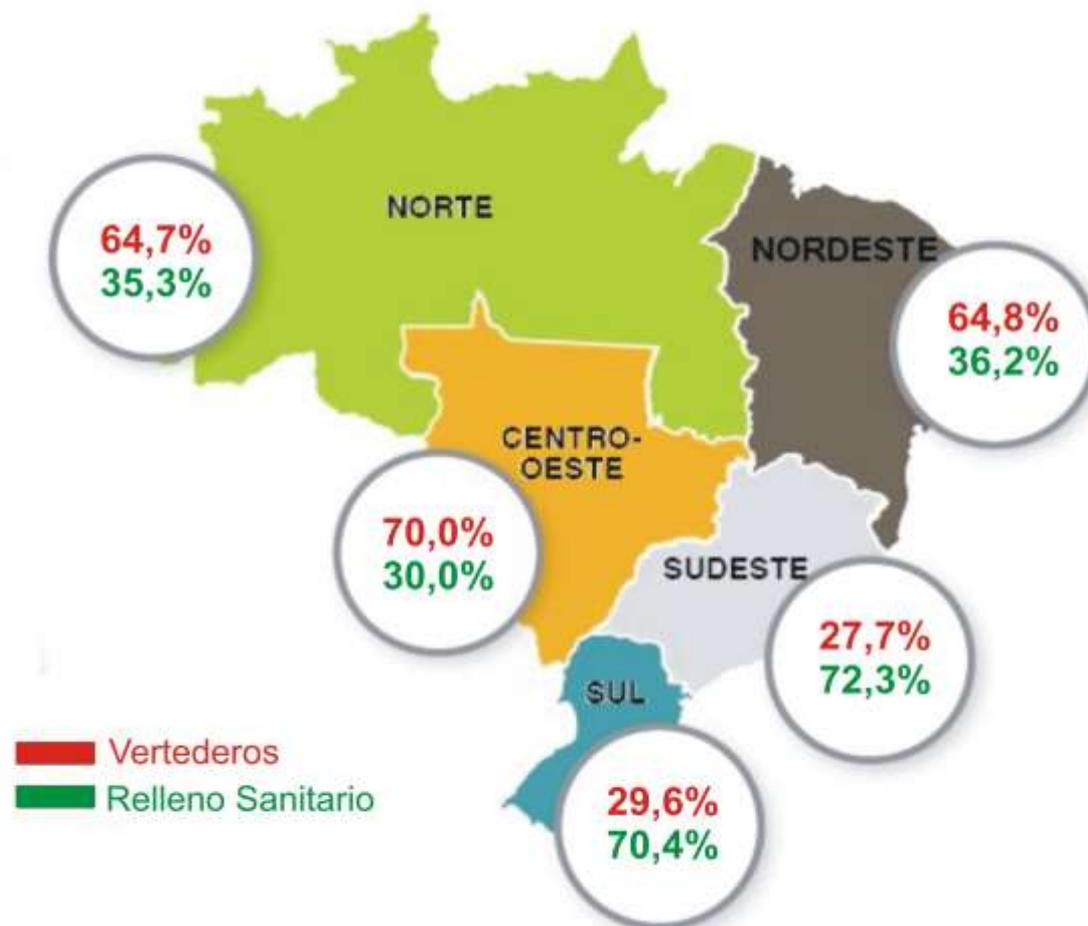
Fuente: <http://ecoguia.cm-mirandela.pt/>

# RELLENO SANITARIO SOSTENIBLE

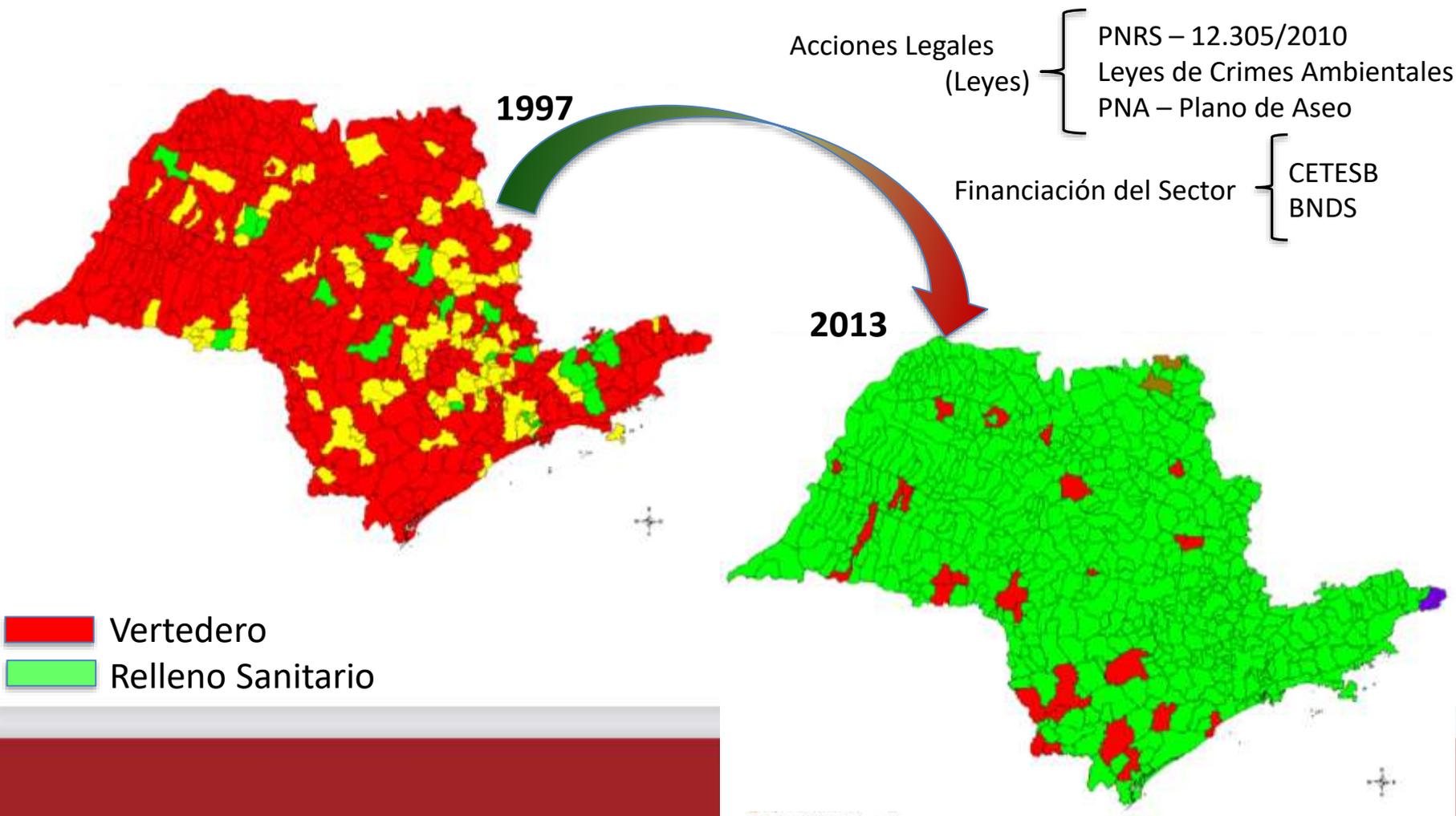


***SITUACIÓN ACTUAL DE LA DESTINACIÓN  
FINAL DE LOS RSU EN LAS PRINCIPALES  
REGIONES DEL BRASIL***

# DESTINACIÓN FINAL DE LOS RSU EN BRASIL - 2013



# DISPOSICIÓN FINAL





# ***RECUPERACIÓN DE LOS VERTEDEROS***

# MEDIDAS INMEDIATAS



- Orientación a la población a no utilizar el agua de pozos poco profundos;
- Suspensión de actividades y registro de recicladores;
- Actualización de la topografía;
- Vigilancia de la zona; y
- El cierre de la zona.

# PRINCIPALES ACCIONES A REALIZARSE EN LA ZONA DEGRADADA



- Corregir mediante la contención de la basura (reducción de area);
- Drenar efluentes contaminados: lixiviados y gas;
- Garantizar la seguridad y estabilidad del macizo;
- Drenaje, contención y depuración de las aguas subterráneas contaminadas;
- Reintegrar el paisaje de la región; y
- Promover la calidad del medio ambiente.



# POSIBILIDADES Y LÍMITES DE UTILIZACIÓN DE LA ZONA



- Uso generalizado
  - Parque público
  - Centro Deportivo
- Uso limitado:  
Centro de referencia en el reciclaje, tecnología de recuperación y educación ambiental
- Recuperación para utilizar módulos de vivienda para fines sociales
- Limitar el acceso de público: evitar equipos de recolección e impacto por el pisoteo
- Controlar el acceso a la zona: limitar la atracción a la ocupación ilegal

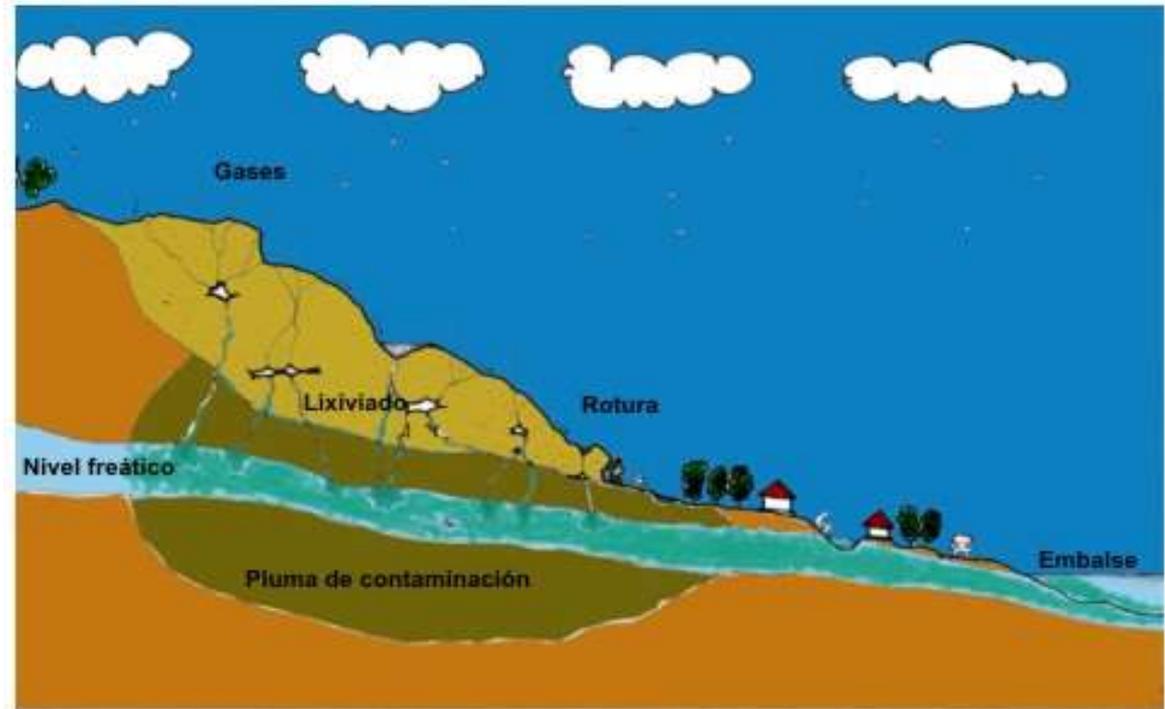
# EJEMPLO: VERTEDERO ALVARENGA/SP



# Caracterización del Problema



- (1) Residencias cerca de los depósitos de residuos/contaminación directa
- (2) Gas Generación, el humo y los olores
- (3) La presencia de macro y micro-vetores (roedores y aves de carroña y insectos)
- (4) Aspecto agresivo y desagradable a los residentes y usuarios de la Carretera de Alvarenga
- (5) La erosión superficial/peligro de escorregamiento
- (6) La contaminación del agua de lluvia que caen el vertedero
- (7) La contaminación del suelo
- (8) La contaminación de las aguas subterráneas
- (9) El uso de agua contaminada para el consumo humano y animal y otros usos
- (10) La contaminación de los cuerpos de aguas superficiales
- (11) La contaminación de los sedimentos del fondo
- (12) La contaminación de diversos organismos acuáticos



# Posibilidades y Limites de Uso da Area



- Ampla Utilización
  - Parque Publico
  - Centro Deportivo
- Restringido
  - Estación de investigación para la remediación y reintegración ambientales del vertedero
  - Centro de referencia para reciclaje, la tecnologia de recuperación y educación ambiental
- Recuperación para módulo del uso habitacional del orden social
- Limite el acceso público: Evita depredación del equipo y el impacto por el pisoteo
- Mejoras Asociadas
  - Acceso controlado a la área: Estrecha atracción a proceso de ocupación clandestina

# Ejemplos de obras realizadas



## PARQUE RIZZO - EMBU/SP



# Ejemplos de obras realizadas



## SOLVAY – Santo André/SP

ANTES



DEPOIS



# RECUPERACIÓN DEL VIEJO VERTEDERO: PLANALTINA/GO



Abril/2013

- Retirada de los residuos preparados inadecuadamente
- La remodelación de la tierra



Noviembre/2013

Construcción de la celula de emergencia y el estanque de lixiviación con sistema de impermeabilización adecuado

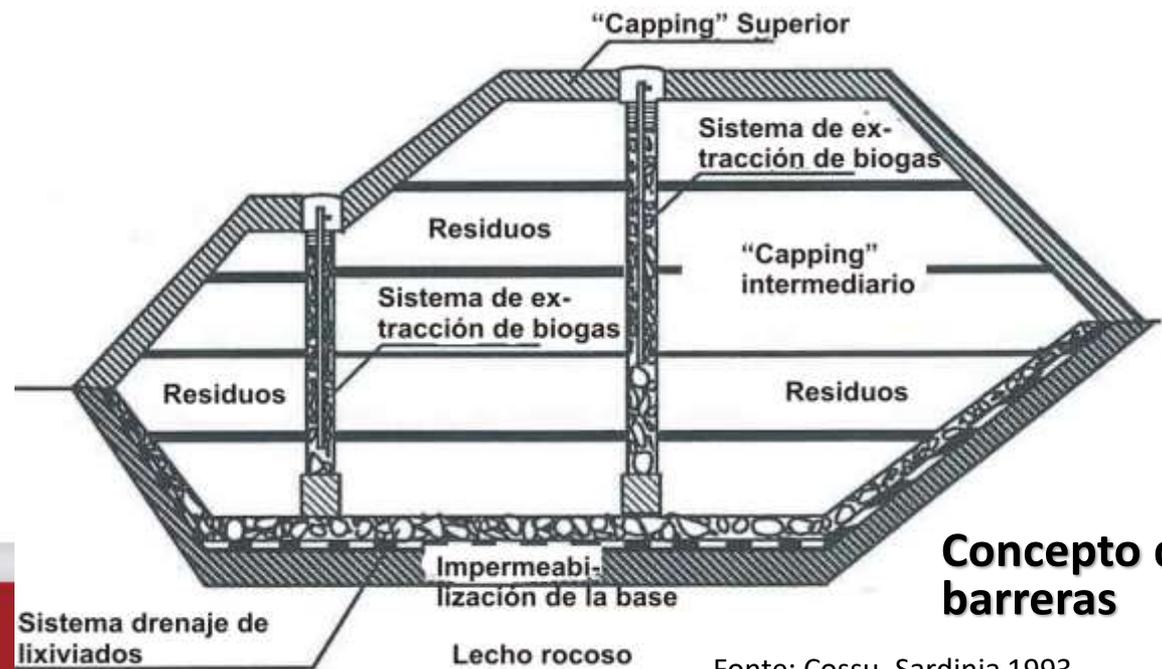
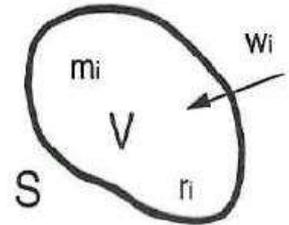
# ***PROYECTO, IMPLANTACIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS***

# Concepción Básica de un Proyecto



- Criterios de selección de el área
  - Técnico y económico
  - Ambiental
  - Geo-hidroológico
  - Geotécnico
  - Residuos a depositar
- Implantación
- Impermeabilización de base
- Drenaje de lixiviados
  - Drenaje de fundación
  - Drenaje de célula
- Tipología
  - Altura de células
  - Inclinación de rampas
  - Capas de cobertura
    - ✓ Diaria
    - ✓ Final
  - Tratamiento de lixiviado

- Infraestructura
  - Portería/oficinas/balanza
  - Oficina de mantenimiento
  - Redes
    - ✓ Energía
    - ✓ Agua/Aseo
    - ✓ Comunicaciones
- Accesos



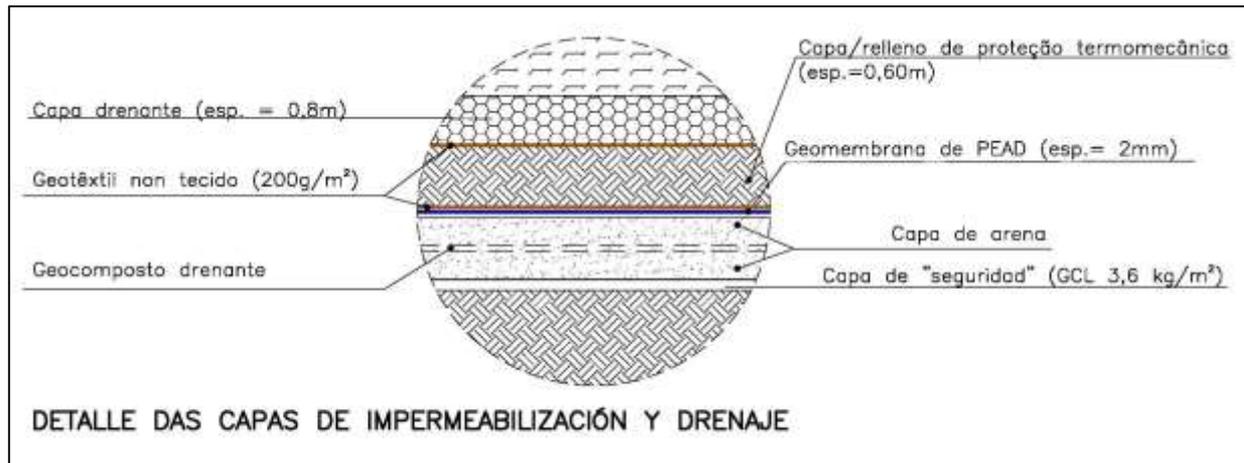
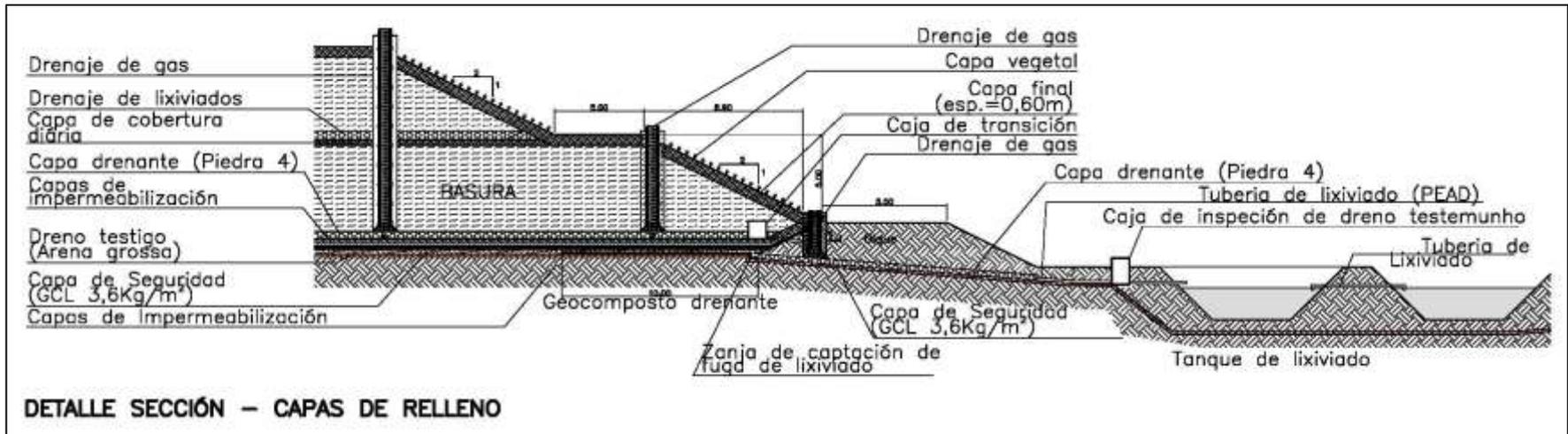
**Concepto de barreras**

# Fases de Implementación



- Primeros Trabajos
  - Sitio de construcción
  - Movimiento de tierras y regularización de terreno
  - Drenaje de aguas (superficiales, minas, profundas)
- Impermeabilización de base ("*Liners*")
  - Obligatorio a partir de los años 80, la incorporación de las membranas artificiales flexibles, sobre todo después de las recomendaciones de la EPA, Julio/82
  - "Prevención (a través de la membrana flexible) en lugar de minimizar (mediante capa de arcilla) la migración (pluma) de lixiviado: produce mejores resultados ambientales y proporciona una mayor seguridad y minimización de riesgos contaminación en el medio ambiente"
  - Inclinación de la base debe garantizar la libre circulación de lixiviados: Inclinación  $\geq 5\%$  (lixiviado: liquido non NEWTONIANO con  $\mu$  (viscosidad de 50 a 100 x  $\mu_{\text{agua}}$  con temperatura interna de 40° a 70°C y portanto, condiciones criticas para el flujo)

# Implantación Básica de un Proyecto de Relleno





# ***GEOSINTÉTICOS: APLICACIONES EN RELLENOS SANITARIOS***

# Impermeabilización de base



# Beneficios



- Productos manufacturados
- Bajo Costo
- Facilidad y rapidez de ejecución
- Excelente rendimiento técnico
- Productos principales
  - Geotextil
  - Geomalla
  - Barreras Geosintéticas Poliméricas (Geomembranas)
  - Geored
  - Geomantas
  - Geocélulas



# Aplicación de Geosintéticos en Protección Ambiental



- **Barreras Geosintéticas:**
  - Prevenir la migración de humedad y vapores
  - Reserva de agua y aguas residuales
  - Contención de los más variados residuos tales como residuos urbanos y residuos industriales
  - Remediación de sitios contaminados
- **Materiales utilizados:**
  - Tradicionalmente: suelo compactado, concreto, asfalto y manta impregnada
- **Geosintéticos: nuevos materiales**
  - Geosintéticos con función de barrera:
    - Barrera Geosintética Polimérica: Geomembranas
    - Barrera Geosintética de Arcilla: GCL



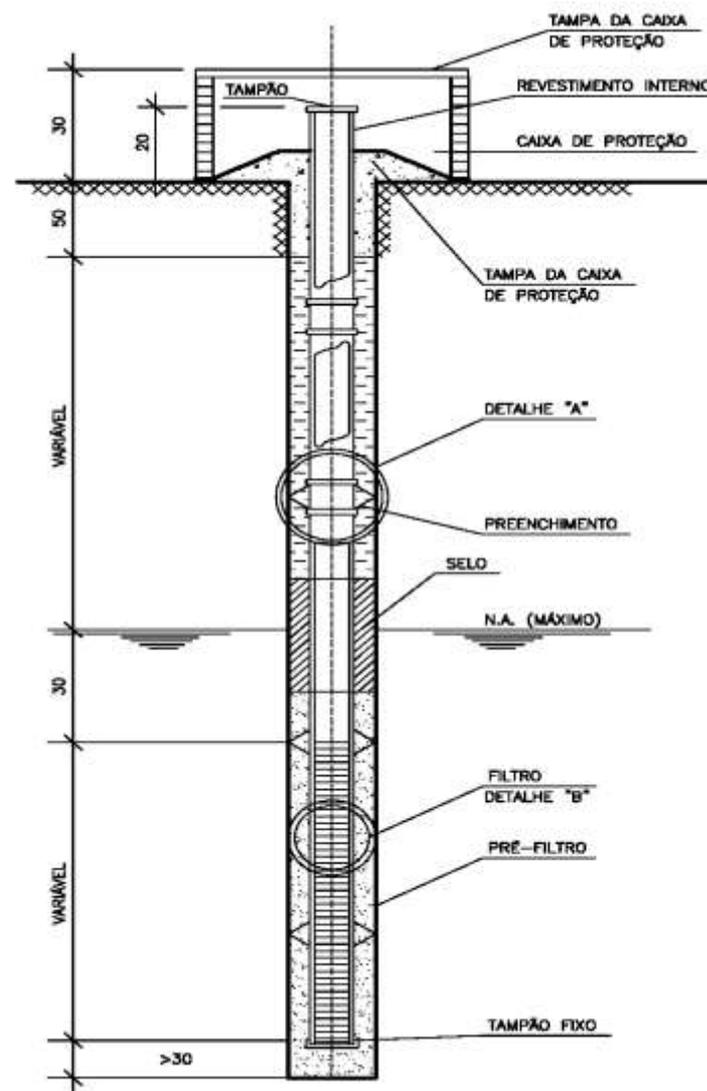


# ***RELLENOS SANITARIOS: MONITOREO***

# MONITOREO AMBIENTAL



- Efluentes
  - Gaseosos
  - Líquidos
- Instrumentación
  - Lisímetros
  - Sondas
  - Pozos
  - Sondas eléctricas
  - Sensores térmicos
  - Sensores Gasosos (GEM)



Pozo de monitoreo

# MONITOREO GEOTÉCNICO



- Desplazamientos
  - Verticales
  - Horizontales
- Presiones neutras
  - Fase líquida: lixiviado
  - Fase gaseosa: biogas
- Estabilidad de taludes
- Instrumentación
  - Puntos de referencia
  - Piezómetros



Piezómetro

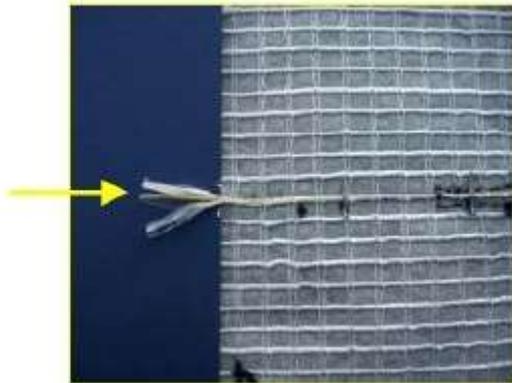


Puntos de referencia

# Ejemplo de la tecnología para asistir al supervisión geotécnica

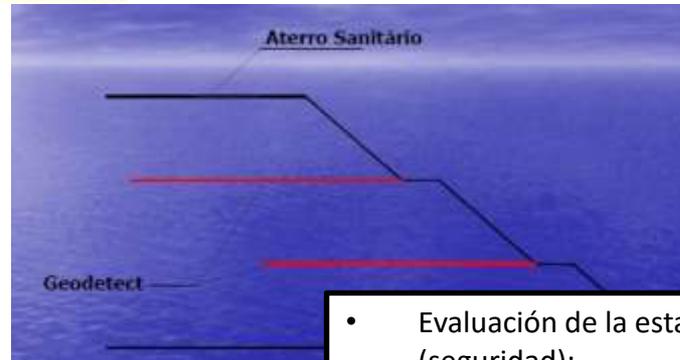
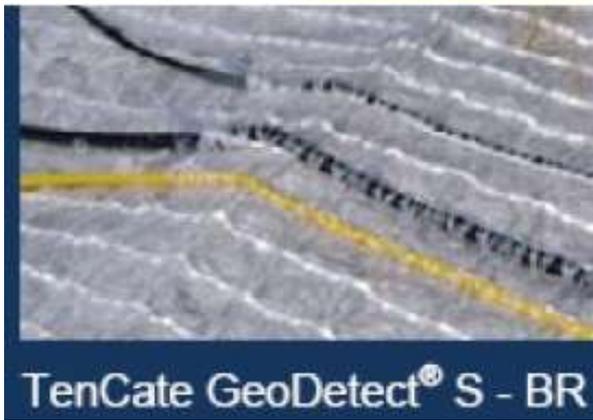


GeoDetect – Geosintético que tiene en su interior fibras ópticas que permiten el control continuo de diversas magnitudes usando un sistema de hardware específico



## Aplicaciones:

- Muros de suelo reforzado;
- Encuentros de puente en suelo reforzado;
- Terraplén reforzado en suelo blando;
- Terraplén Estructurado en suelo blando;
- Los rellenos sanitarios;
- Conductos;
- Presas / diques; y
- Ferrocarriles.



- Evaluación de la estabilidad de forma continua (seguridad);
- Asistencia en retroanálisis para obtener parámetros de resistencia: nueva basura / basura de edad; y
- Mediciones de temperatura.



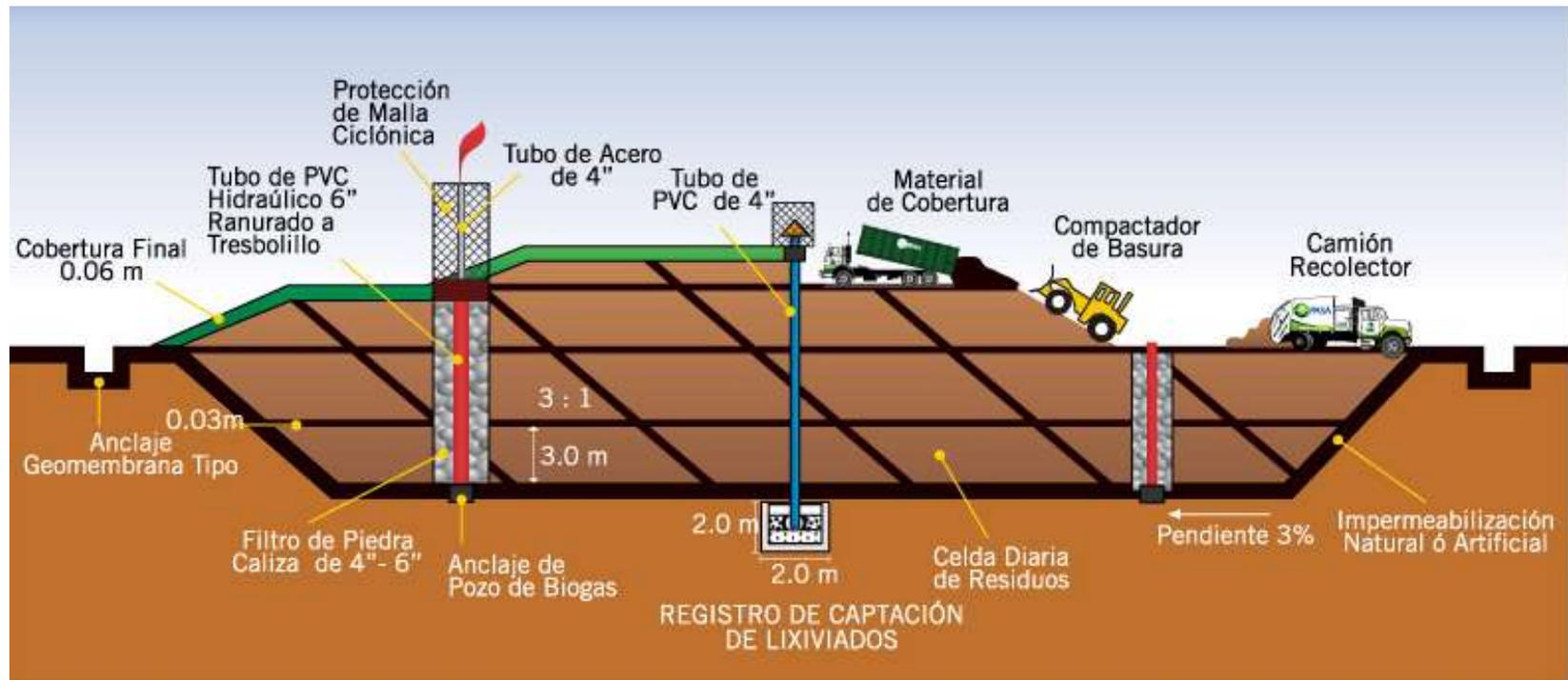
# ***BIOGÁS EN LOS RELLENOS SANITARIOS***

# BIOGÁS



Biogás, resultado de procesos físicos, químicos y microbiológicos en el interior de los residuos.

A calidad depende de el sistema microbiológico que conduce el proceso de generación del gas, dada la naturaleza orgánica de la mayor parte de los residuos.



## Los Rellenos Sanitarios son reactores biológicos:

- ✓ Los elementos de entrada y los alimentos:
  - Residuo sólido
  - Agua
  
- ✓ Elementos de salida
  - Líquidos percolados
  - Biogás
  
- ✓ Los factores que influyen en la cinética de los procesos de biodegradación:
  - Tamaño de grano
  - Composición e la edad de los residuos
  - Humedad de residuos
  - Temperatura del relleno
  - Cantidad y calidad de nutrientes
  - pH de los líquidos em el relleno
  - La densidad y grado de compactación de residuos

# COMPOSICIÓN DE BIOGÁS EN ATERROS



## Básicamente:

- ✓ De 40% a 60% de metano con el volume restante:
  - ✓ Dióxido de carbono
  - ✓ De 1% a 2% de otros gases inorgánicos

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE (BASE SECA)
METANO	45-60
DIÓXIDO DE CARBONO	40-60
NITROGENO	2-5
OXIGENO	0,1-1,0
AZUFRE, MERCAPTANOS, ETC	0-1,0
AMONÍACO	0,1-1,0
HIDROGENO	0-0,2
MONÓXIDO DE CARBONO	0-0,2
GASES EN MENOR CONCENTRACIÓN	0,01-0,6

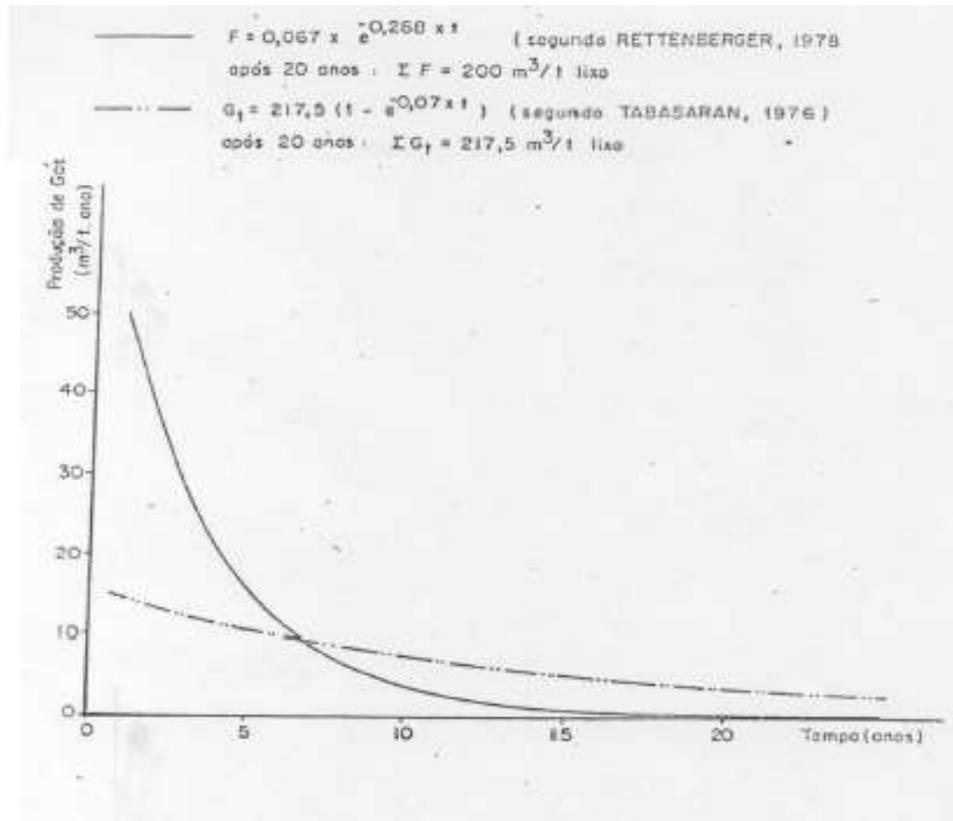
Tchobanoglous et al. (1994)

# Tasa de Producción de Gas

Rettemberger, 1978 e Tabasaram, 1976



- ✓ Mayor producción de gas em los primeros 2 años del relleno
- ✓ Disminución posterior en orden exponencial



$$P = 0,067 * e^{(-0,288 * t)} \quad (\text{RETTEMBERG})$$

$$P = 217,5 * (1 - e^{(-0,07 * t)}) \quad (\text{TABASARAN})$$

onde P= Produção de gás ( m<sup>3</sup>/ ton.\*ano)  
t = Tempo(años)

Curvas de variación de la velocidad de producción de gas em los rellenos sanitarios.

# EMISIONES FUGITIVAS



Propósito:

- ✓ Evaluar el escape de biogás de la superficie del relleno sanitario Bandeirantes/SP-Brasil, em los bancos y em la superficie.

Metodología:

- ✓ 4 áreas distintas elegidas aleatoriamente que se instalaron lonas polietileno.



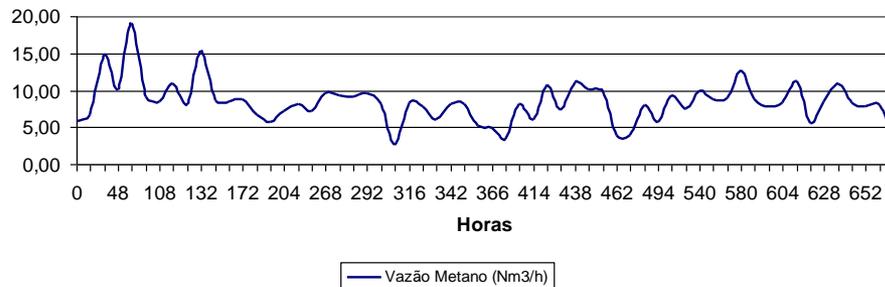
# EMISIONES FUGITIVAS

## Resultados

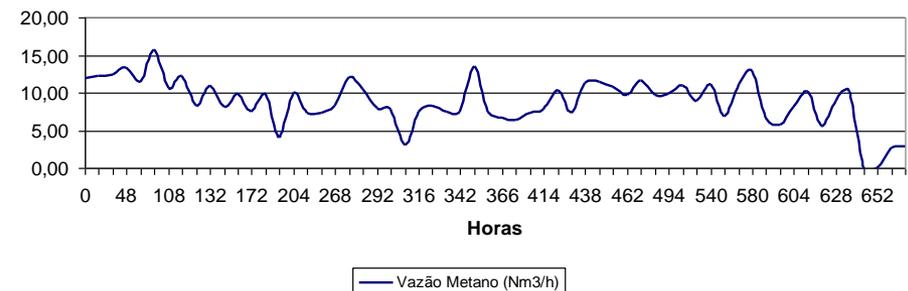


- ✓ Mediciones realizadas durante 30 días em 2006 em las 4 areas, excepto la area 2, que fue cerrado 7 días antes;
- ✓ Se midió niveles:
  - ✓ Metano (CH<sub>4</sub>)
  - ✓ Oxígeno (O<sub>2</sub>)
  - ✓ Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

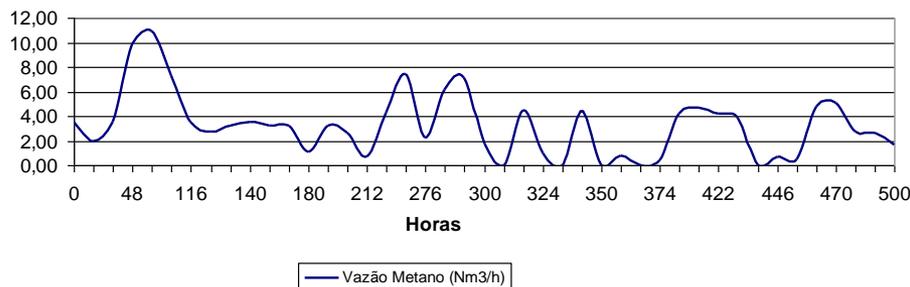
**Evolução da Área 1**



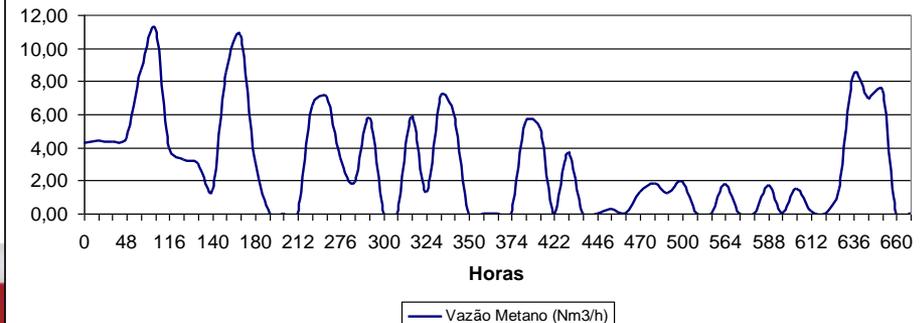
**Evolução da Área 3**



**Evolução da Área 2**



**Evolução da Área 4**

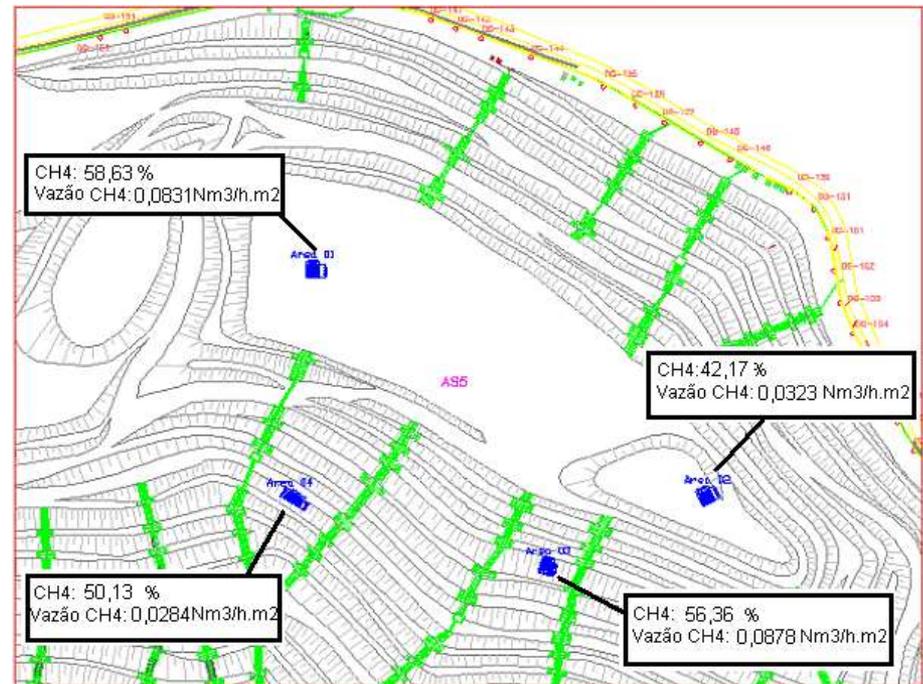


# EMISIONES FUGITIVAS

## Resultados



- ✓ Velocidad de flujo más altas
  - Área 1
  - Área 3
- ✓ Velocidad de flujo ~50% más bajas
  - Área 4
  - Área 5
- ✓ Los estudios con datos atmosféricos mostraron:
  - Variación proporcional entre la temperatura ambiente y las áreas de flujo de metano

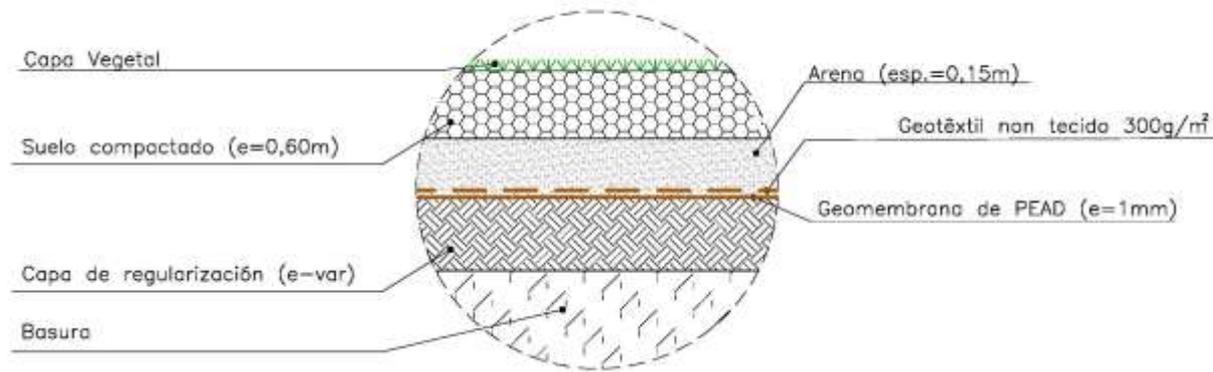


# “Capping”



- Es la ejecución de cobertura de la superficie em relleno
- Assegurar la capa de la demanda de gas fugitivo
- Aislamiento de la superficie de relleno
- Impermeabilización del relleno del agua de lluvia

# Concepción



Elemento	Función
Capa de regularización	Hacer el área a impermeabilizar con regularidad, para conducir agua de lluvia en el sistema de drenaje
Geomembrana de PEAD (e=1mm)	Impermeabilización de la area
Barrera Capilar	
Geotêxtil non tecido	Drenar y conducir las aguas al sistema de drenaje
Capa de arena (e=15cm)	Drenar y conducir las aguas al sistema de drenaje
Capa de suelo compactado (e=60cm)	Suporte para la capa vegetal



# ***FACTORES QUE AFECTAN LA CUALIDAD OPERACIONAL DE LOS RELLENOS***

# Factores que afectan la Calidad Operacional de los Rellenos



- Falta de Inversiones;
- Falta de Gestión Financiera y Económica;
- Falta de Gestión de la Formación Técnica y Operación;
- El uso indebido y mala operación del equipo que resulta en una baja densidad y, lo tanto, una baja resistencia y alta conductividad hidráulica
- Descontinuación Política; y
- La falta de motivación administrativa, pública, política y social.



# ***APRENDIENDO CON DESASTRES***

# Relleno Sanitario Sítio São João



- Localización: São Paulo/SP
- Ruptura: Agosto/2007
- Causas probables:
  - Biogás Exploración
  - Verticalización del Relleno Sanitario

## Relleno Sanitario Sítio São João 2007 – Antes y despues de la ruptura



Antes →30/julio/2007

Despues→13/agosto/2007



## Relleno Sanitario Sítio São João 2007 – Despues de la ruptura



Cantidad ~300.000ton

# Relleno Sanitario Pajoan

## 2 Rupturas (2000 y 2010)



- ✓ Localización: Itaquaquetuba/SP
- ✓ **Ruptura: 2000**
- ✓ Causas probables:
  - Operación Inadecuada
  - Ausencia / Deficiencia de Sistema de Drenaje



Ruptura

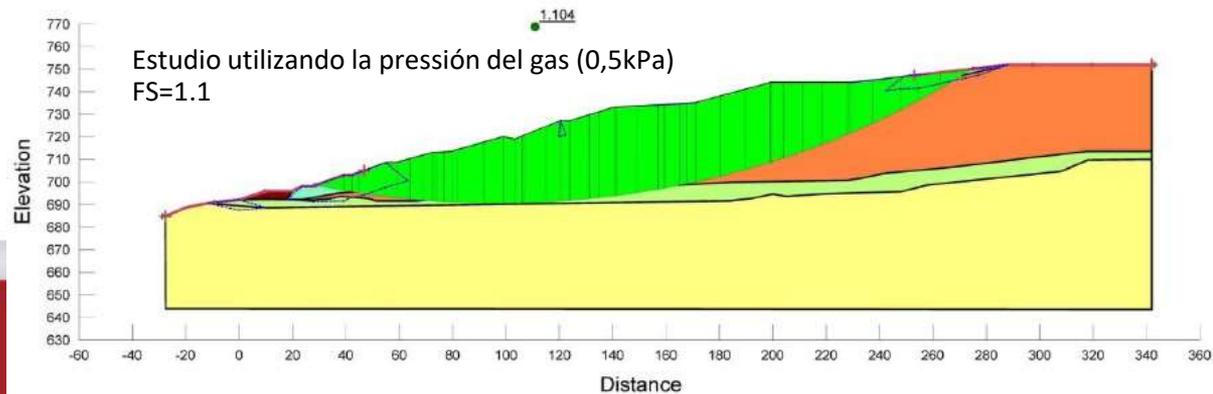
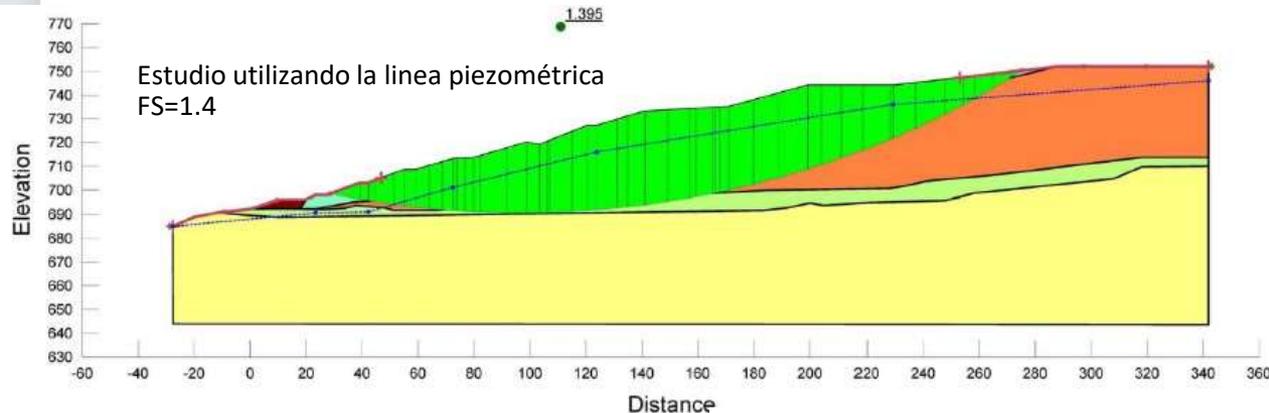


Después de la Ruptura

# Relleno Sanitario Pajoan – Ruptura de 2010



- ✓ Localización: Itaquaquetuba/SP
- ✓ **Ruptura: Abril/2010**
- ✓ Causas probables:
  - Biogás Exploración
    - Los estudios han demostrado que la presión del gas tiene una influencia directa sobre la estabilidad de talude



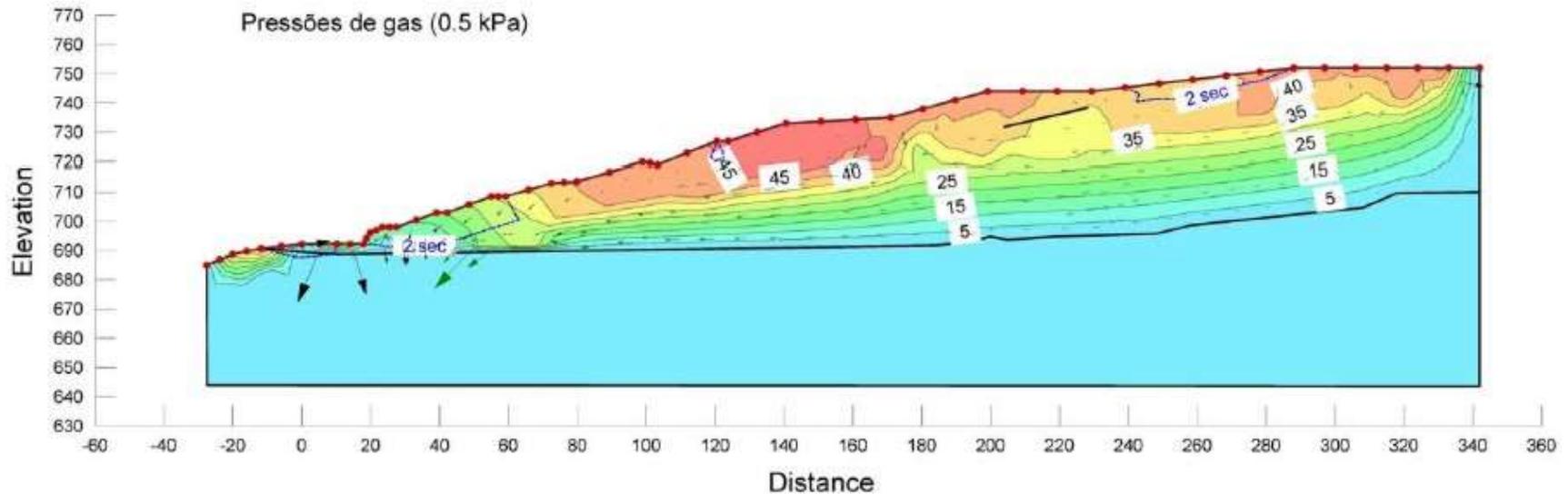
# Relleno Sanitario Pajoan – Ruptura 2010



Os graficos de programa también muestran una región de altos valores de presión en la parte central de la sección de rotura.

Presiones de gas  $\gg 0,5$  kPa

FS  $\ll 1,0$



# Relleno Sanitario Pajoan – Ruptura de 2010



Antes de la Ruptura



Después de la Ruptura





**GRACIAS!!!**

Eng<sup>o</sup> Francisco Oliveira

[franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br](mailto:franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br)