



Gestión de Residuos en América Latina

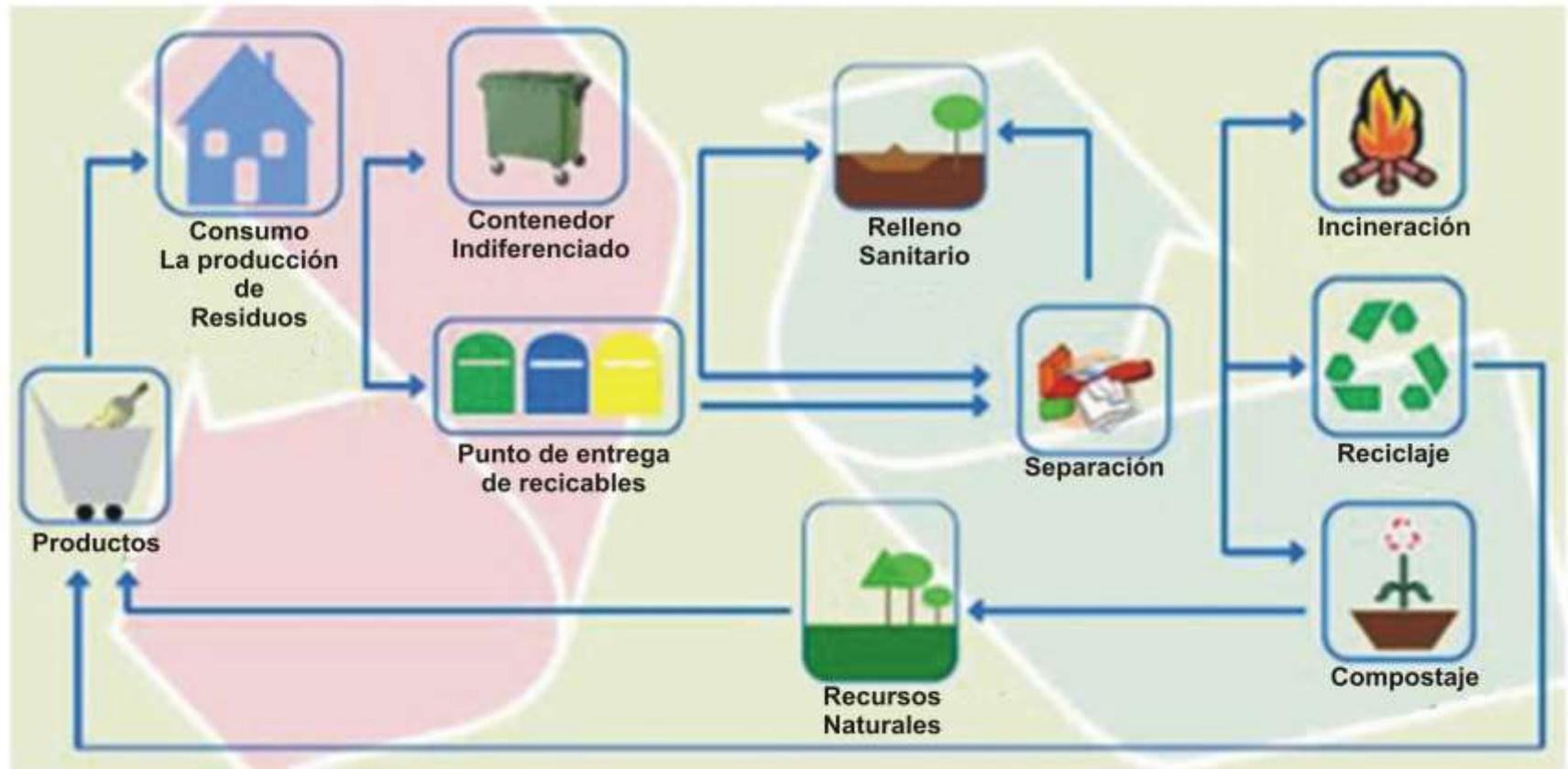
Minicurso: Diseño Técnico de rellenos sanitarios
Ing. Civil Francisco José Pereira de Oliveira



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



DESTINACIÓN FINAL



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

RELLENO SANITARIO SOSTENIBLE



TIPOS DE RELLENOS



Relleno de superficie



Relleno de depresión



Superior



Talvegue

Superior



LA DISPONIBILIDAD DE SUELO

Arcilla >25%



Área de Disposición de Residuos

Depósito de la excavación de tierra





IMPLANTACIÓN, OPERACIÓN, MONITOREO E CLAUSURA DEL RELLENOS SANITARIOS

***Forma de Destino Final Adecuado de Resíduos en el
Suelo***

Pre-Dimensionamiento para la Definición del Proyecto



- Tipos de residuos a recibir
- Generación de residuos en el municipio o en los municipios para ser servido por el relleno sanitario
 - ✓ Población a ser servida
 - ✓ Per cápita
- Volumen de residuos que serán dispuestos en relleno
- El dimensionamiento de la área: definición de área mínima
- Vida útil del relleno

Estudio de alternativas de ubicación

- la verificación de los estudios existentes de la gestión municipal y cartográfica municipal
- áreas urbanas o cercanas se descartan
- geología - agua, el suelo y las rocas
- topografía y dimensiones
- legislación ambiental - distancias que deben respetarse
- biota - supresiones y las especies en peligro de extinción
- los recursos hídricos
- distancia al centro generador - transporte - el acceso
- receptividad de la población
- legal
- consorcio

DISTANCIAS MINIMAS



Residencias



Cuerpos de agua



Nivel freático

DISTANCIAS MINIMAS



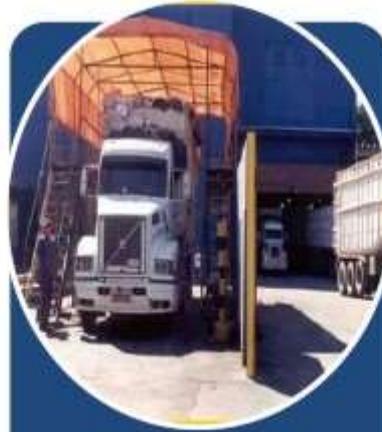
Aeropuertos e carreteras

Relleno Sanitario: actividad atractiva para las aves y puede representar riesgos de accidentes aéreos

DISTANCIAS MINIMAS



Transferencia



Protección de la carga



Descarga



Centro Generador



Mayor que 40Km



Disposición Final

Centro Generador – Relleno Sanitario

Procesos de Elección de Áreas



- Estudios
 - Sitio de construcción
 - Movimiento de tierras y regularización de terreno
 - Drenaje de nacimiento (surgência de agua)
- 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 (a través de sellado capa de arcilla) la migración (pluma) de lixiviado: produce mejores resultados ambientales y proporciona una mayor seguridad de que no habrá contaminación en el medio ambiente"
 - Inclinación de la base debe garantizar la libre circulación de lixiviados: Inclinación $\geq 5\%$

Restricciones y Influencias – Medio Físico



- ✓ Geología
- ✓ Geotecnia/Préstamo/Fundación
- ✓ Hidrogeología
- ✓ Geomorfología – Topografía/Relieve y Superficie Dinámica (erosión)
- ✓ Sismología
- ✓ Climatología – Balanço de agua
- ✓ Recursos de Aguas Superficial y Subterránea
- ✓ Calidad del Aire – Particulado, Olores y Ruido

Restricciones y Influencias – Medio Biótico



- ✓ Áreas protegidas y protección del medio ambiente
- ✓ Flora - Etapa inicio/medio/avanzada y supresión vegetal
- ✓ Fauna – Extinção – hábitats – espécies en peligro – avi-fauna
- ✓ Ictofauna u organismos acuáticos (Zoo/Fito-planctron y bentónico)

Restricciones y Influencias – Medio Antrópico

Directa y Indirectamente



- ✓ Población que asistió - IDH
- ✓ Infraestructura local/regional y equipo/acceso/alcantarillado
- ✓ Aislamiento visual/distancias de residencias y agrupaciones
- ✓ Usos de aguas
- ✓ Capacidad técnica y financiera da la ciudad/consorcio/empresa
- ✓ Aeropuertos
- ✓ Patrimonio Histórico, Arqueológico, Artístico y Turístico
- ✓ Líneas de transmisión, red de agua y ductos, gasoductos
- ✓ Uso del suelo municipal
- ✓ Documentación de la área
- ✓ ONG (cultura y información a población)
- ✓ Alcaide x Camara - Composición política
- ✓ Concesión y licença

Concepción de las Instalaciones

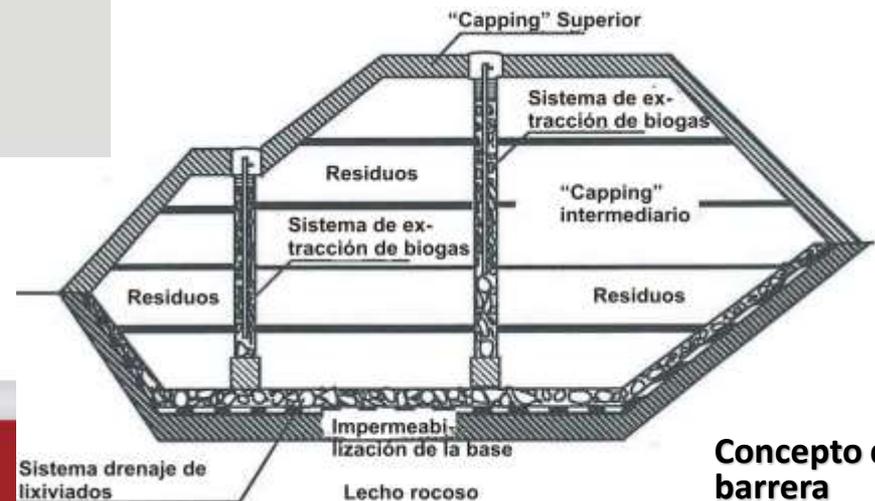


- Acceso durante toda la vida útil del relleno sanitario
- Cinturón verde
- Áreas de recepción, balanza, la administración, especiales (educación, tratamientos):
 - Portería/oficina/balanza
 - Taller de mantenimiento/depósito
 - Redes
 - ✓ Energía
 - ✓ Agua/Aseo
 - ✓ Comunicaciones
- Perímetro de los residuos en relleno
- Sistemas Sanitarios
 - Impermeabilización de base
 - Drenaje de lixiviados
 - Drenaje de fundación
 - Drenaje de célula
 - Tipología
 - Altura de celdas
 - Inclinación de rampas
 - Capas de cobertura
 - ✓ Diaria
 - ✓ Final
 - Tratamiento de lixiviado

Sección Típica de un Relleno Sanitario



Fuente: Geotech



Concepto de barrera

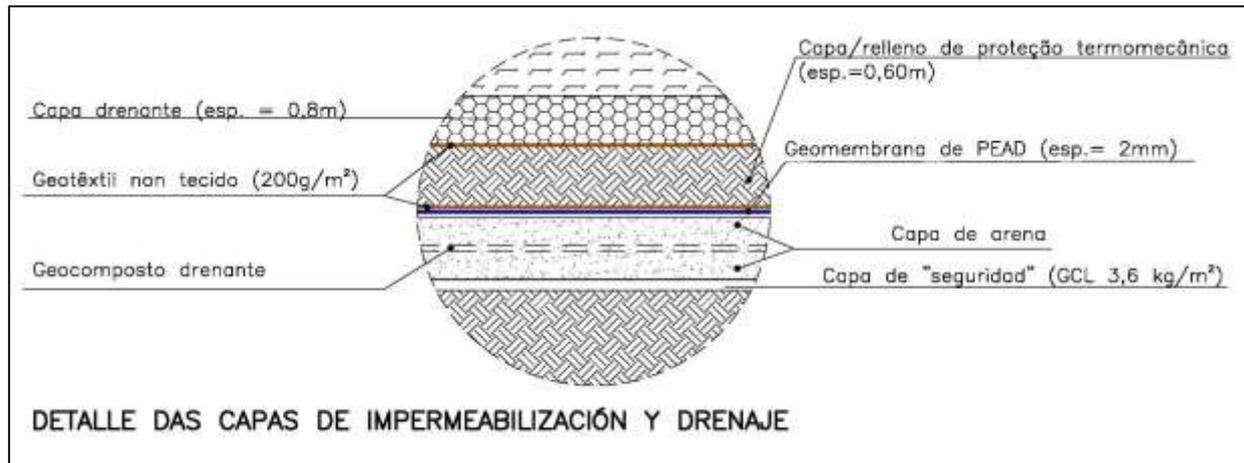
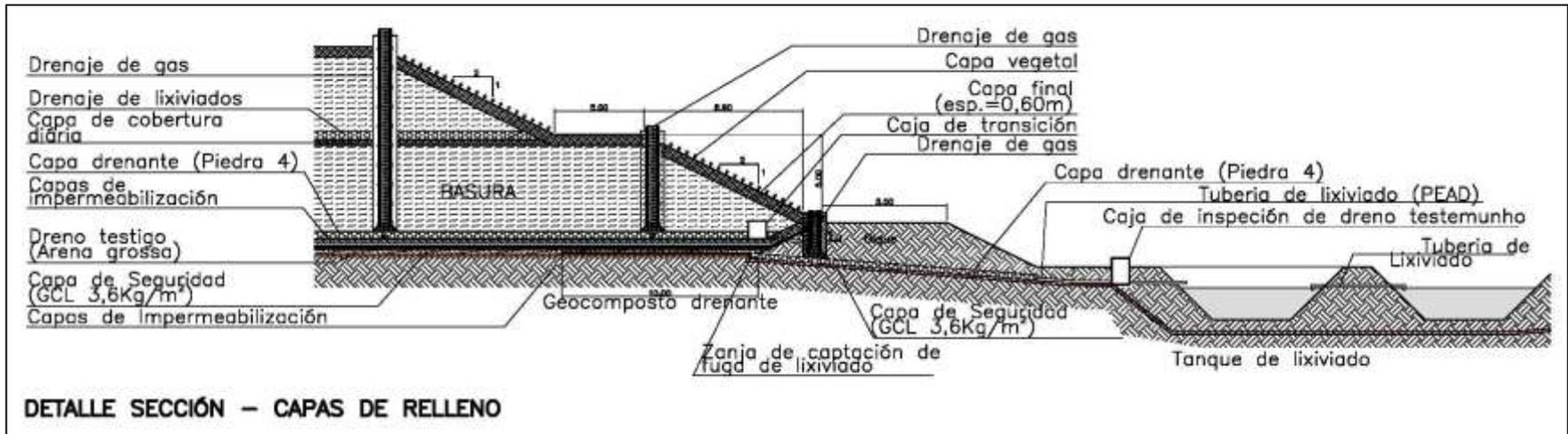
Fuente: Cossu, 1993

Fases de Implementación



- Primeros Trabajos
 - Sitio de construcción
 - Movimiento de tierras y regularización de terreno
 - Drenaje de nacimiento
- 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 (a través de sellado capa de arcilla) la migración (pluma) de lixiviado: produce mejores resultados ambientales y proporciona una mayor seguridad de que no habrá contaminación en el medio ambiente"
 - Inclinación de la base debe garantizar la libre circulación de lixiviados: Inclinación $\geq 5\%$

Implantación Básica de un Proyecto de Relleno



Fases de Implementación



- Insumos disponibles
 - Topografía – Planialtimetría detallada
 - Perforación geotécnica, la permeabilidad de las fundaciones, pruebas de suelo
 - Equilibrio de agua
- Directrices de proyecto
 - Máximo volumen por unidad de área
 - Tanque de almacenamiento de lixiviados posteriores a la remisión a tratamiento
 - Concepción de impermeabilización para evitar la contaminación del suelo y el nivel freático
 - Drenaje de lixiviados
 - Drenaje de gas, recolección e quema
 - Concepción de capa final para minimizar la generación de lixiviados e conducir la salida de biogas
 - Préstamo áreas, almacenamiento de suelos e ejecución por fases
 - Acceso a las capas más altas.

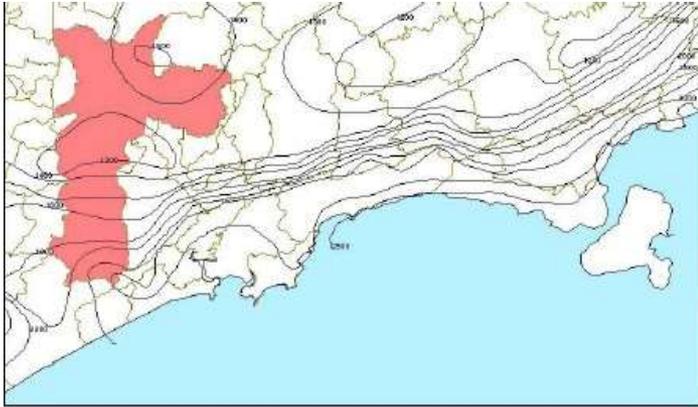
Fases de Implementación (2)



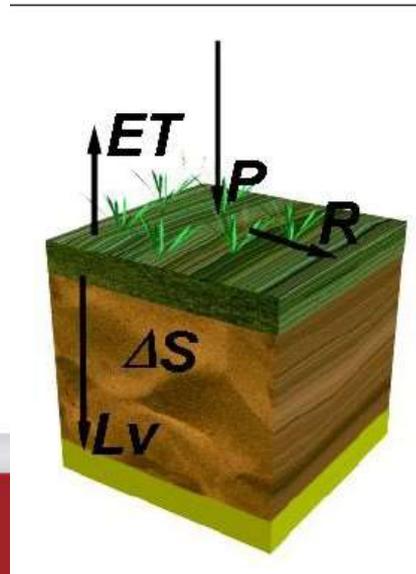
- Drenaje Superficial
 - Sistemas con canales de agua con materiales deformables, cajas de disipación de energía y retención de sólidos
- Extracción de gas, quema controlada y/o generación de energía
 - Especificaciones de materiales y inspección de implementación y operación
- Monitoreo geotécnico y ambiental
- Plan de contingencia
- Plan de cierre

Drenaje Superficial

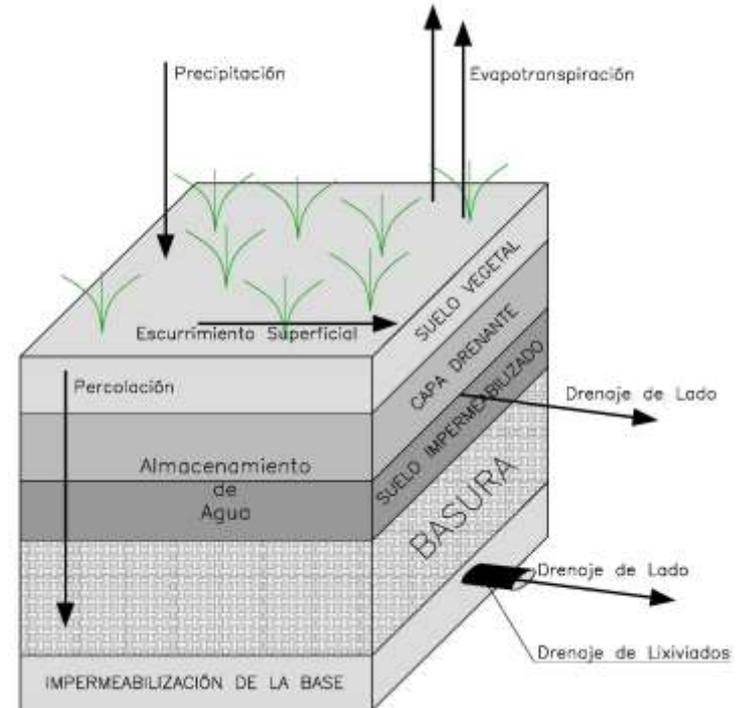
- Cantidad de lluvia



- Vientos
- Temperatura
- La humedad del aire



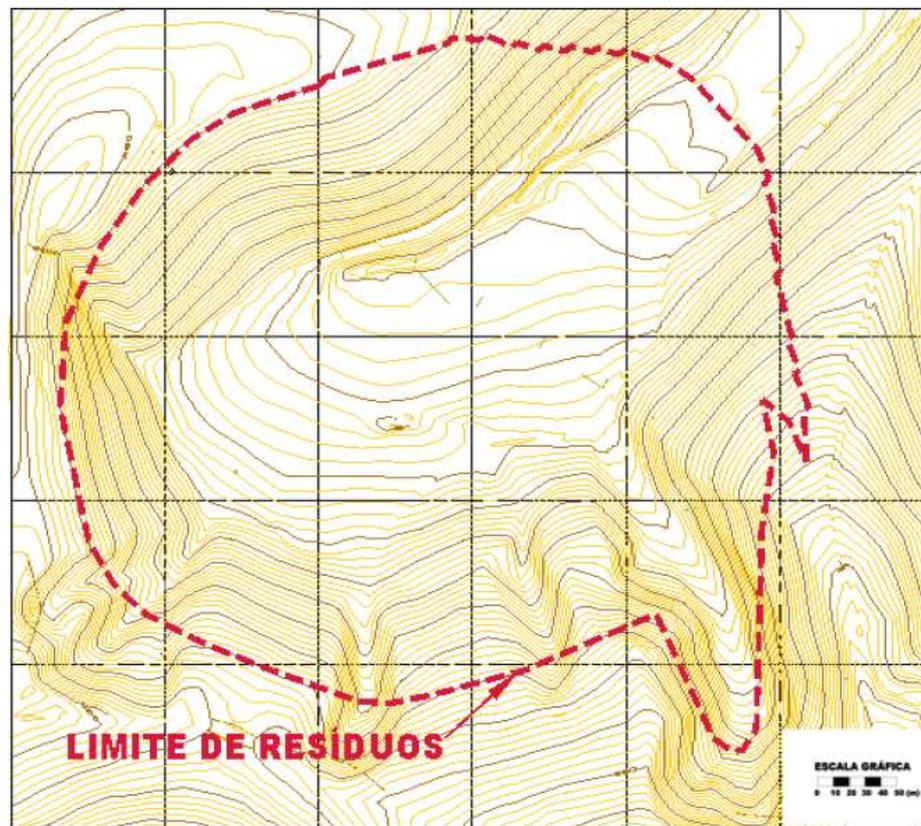
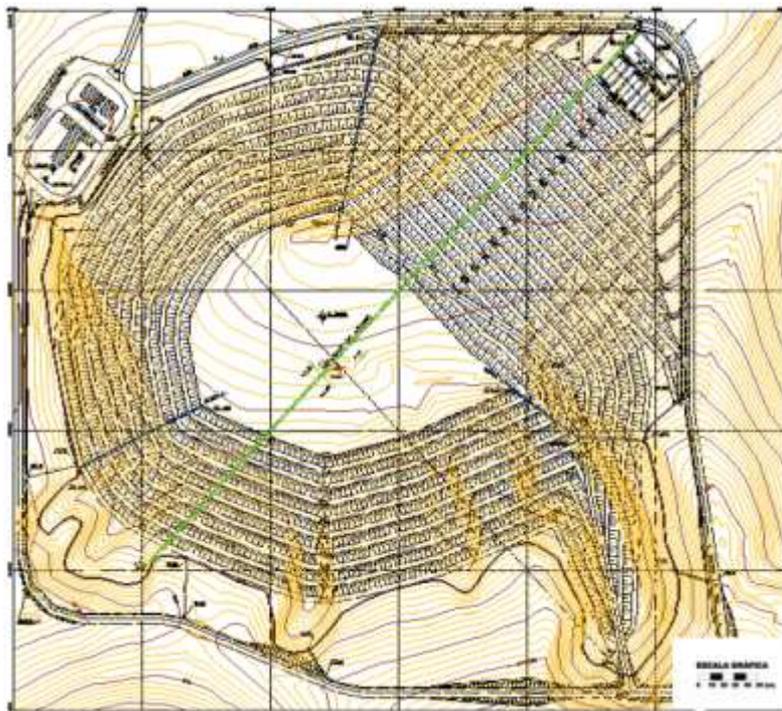
- Balance hídrico



Modelado del Relleno

- ✓ Sistema de cubierta
- ✓ Sistema de impermeabilización
- ✓ Sistema de drenaje de lixiviados

Área de Influencia



Balance Hidrico – Calcular el Volumen de Lixiviados



$$Pr = P - Rs - ET - \Delta Sw$$

Pr = cantidad de lixiviado

P = precipitación

Rs = escurrimiento superficial

ET = evapotranspiración

ΔSw = variación de almacenamiento de agua en el suelo/residuos

METODO SWISS

Q = caudal medio (l/s)

P = precipitación media anual (mm)

A = area del relleno (m²) – limite de residuos

T = numero de segundos en 1 año

K = coeficiente del grado de compactación de la basura

$$Q = \left(\frac{1}{t}\right) \cdot P \cdot A \cdot K$$

| Peso Específico de los Residuos (t/m ³) | Coeficiente K |
|--|---------------|
| 0,4 a 0,7 | 0,25 a 0,5 |
| > 0,7 | 0,15 a 0,25 |



GEOSINTÉTICOS: APLICACIONES EN BARRERAS IMPERMEABLES DE BASE

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 con diferentes sustancias
- **Adviento de Geosintéticos: nuevos materiales**
 - Geosintéticos con función de barrera:
 - Barrera Geosintética Polimérica: Geomembranas
 - Barrera Geosintética de Arcilla: GCL



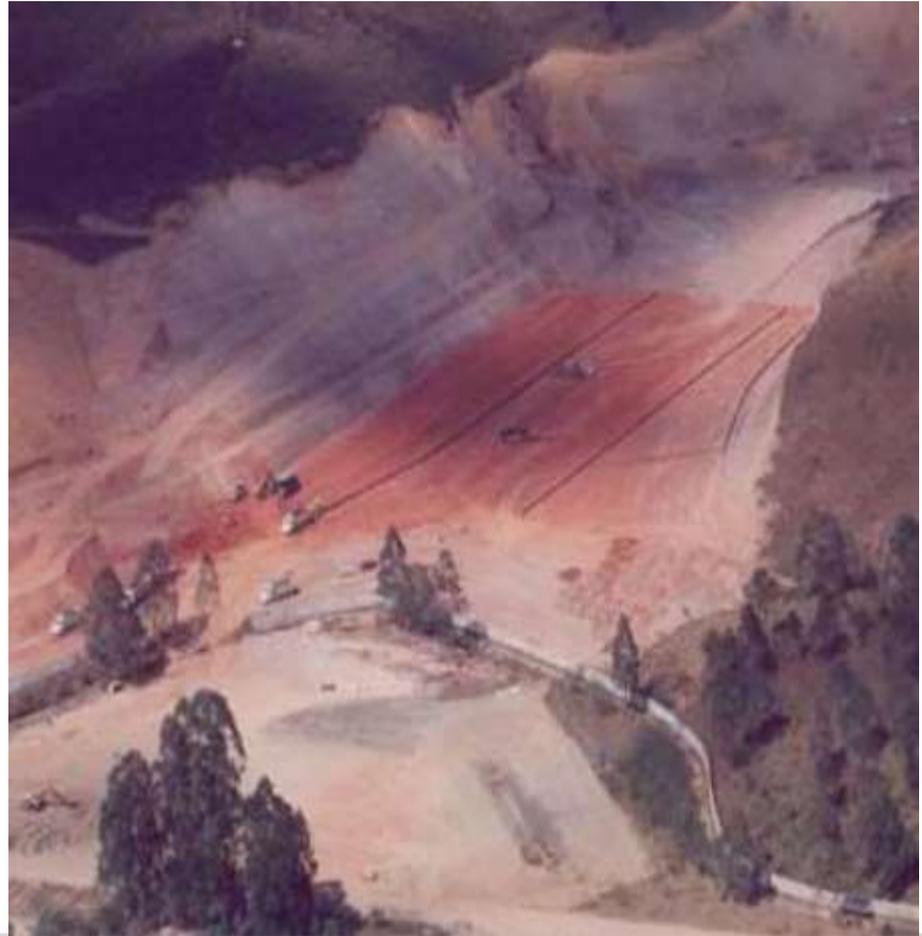
Excavación y Drenaje de Fundación



Drenaje de Sub-Base



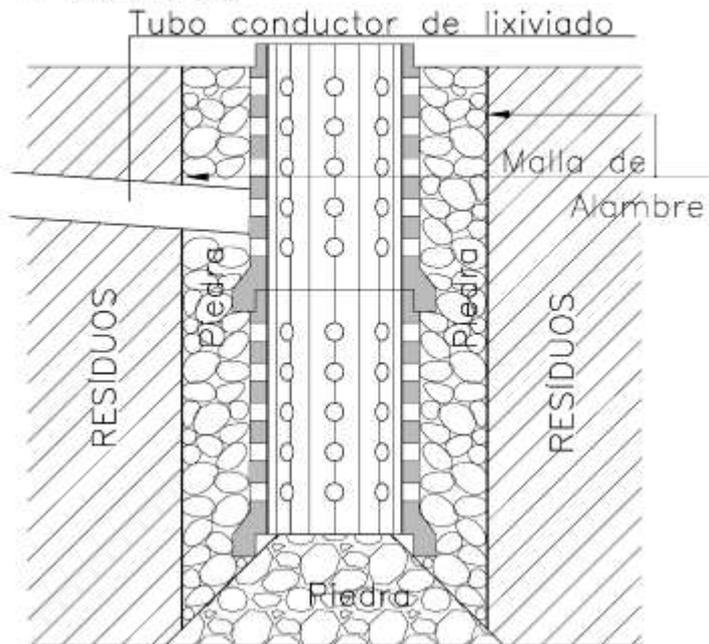
Excavación de la tierra



Drenaje de Gás e Lixiviados



DRENAJE VERTICAL DE GAS E LIXIVIADOS

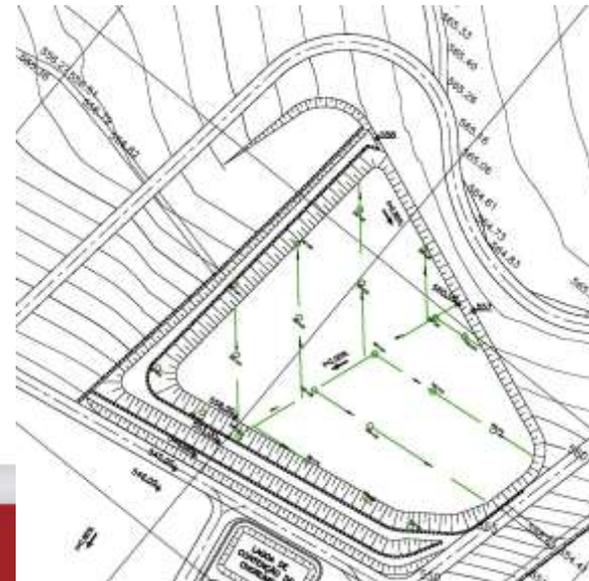


Confinamiento de Residuos y Drenaje de Lixiviados de Celda



Densidad Normal = 0,7 a 0,9 ton/m³

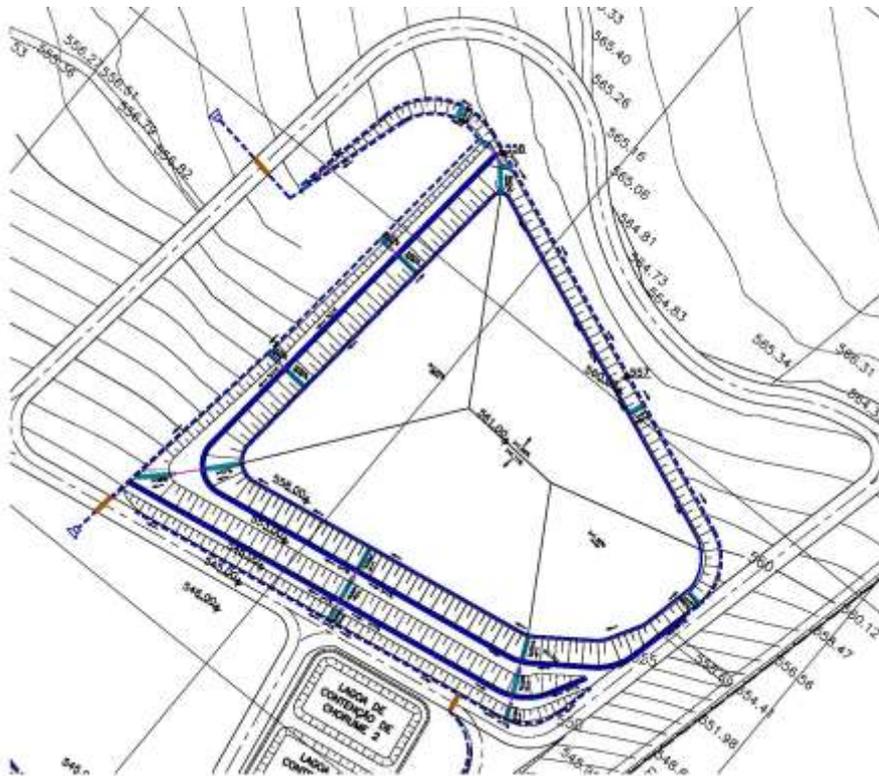
DRENAJE DE CELULA DE LIXIVIADOS



DRENO DE CÉLULA



Drenaje Superficial



CANAL DE BERMA



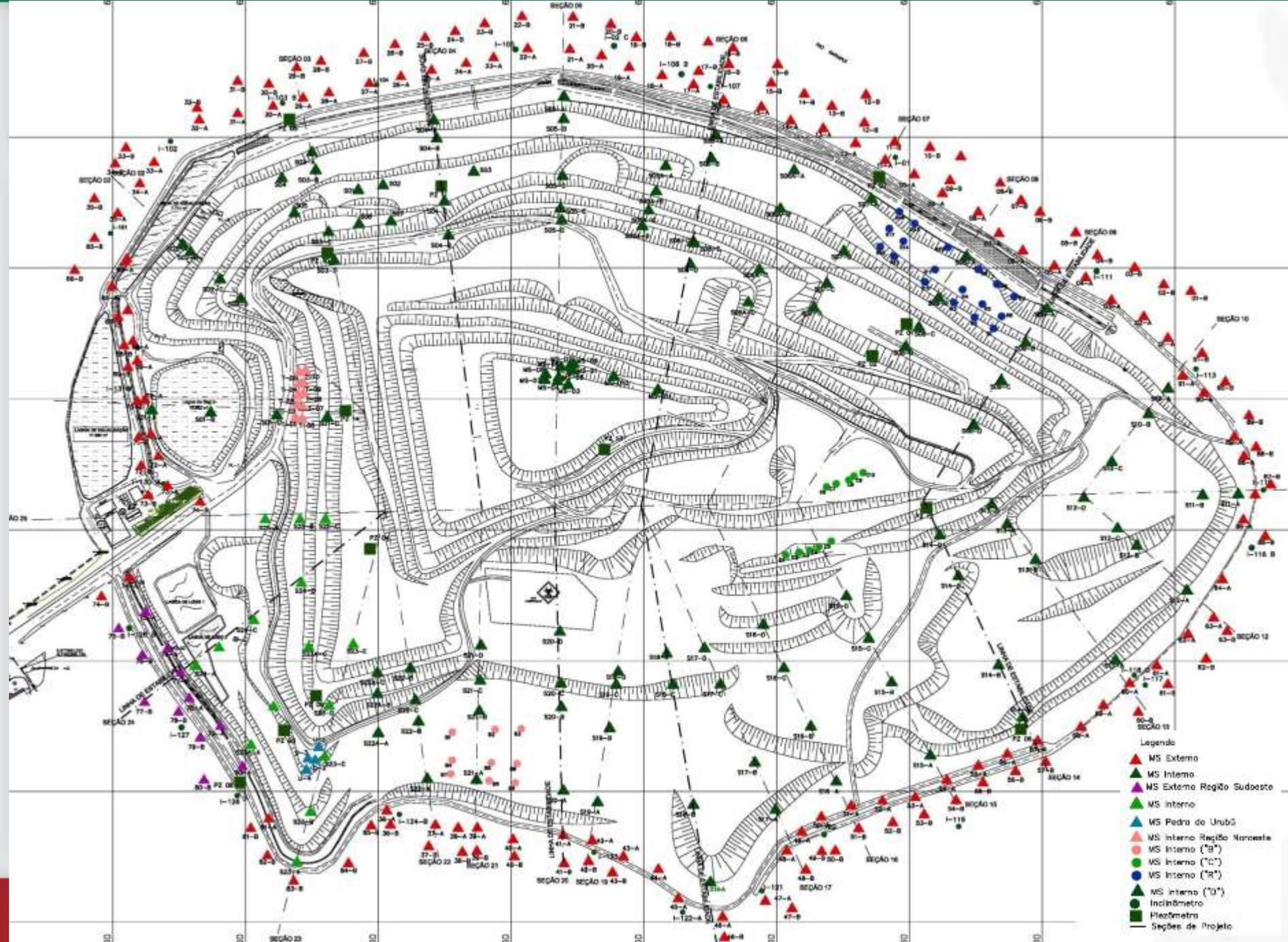
DESCIDA D'AGUA



- Efluentes
 - Gaseosos
 - Líquidos

- Instrumentación
 - Lisímetros
 - Sondas
 - Pozos
 - Sondas eléctricas
 - Sensores térmicos

- Desplazamientos
 - Verticales
 - Horizontales
- Presiones neutras
- Estabilidad de taludes
- Instrumentación
 - Puntos de referencia
 - Piezómetros

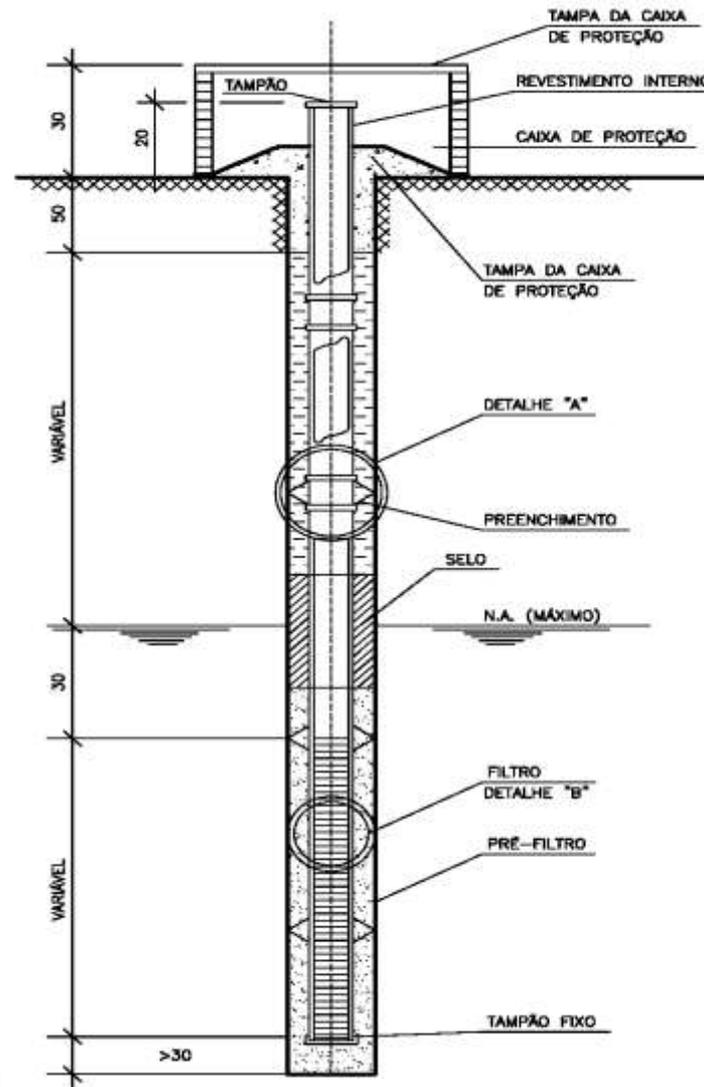


- Legenda
- ▲ MS Externo
 - ▲ MS Interno
 - ▲ MS Externo Região Sudoeste
 - ▲ MS interno
 - ▲ MS Pedra do Urubú
 - ▲ MS interno Região Noroeste
 - MS Interno ("B")
 - MS Interno ("C")
 - MS Interno ("R")
 - MS interno ("U")
 - Inclímetro
 - Piezômetro
 - Seções de Projeto

INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA



POZO DE MONITOREO



Objetivos Principales:

- Evaluación de las condiciones de estabilidad geotécnica del macizo
- Evaluación de las posibilidades de integración vertical de las disposiciones de desecho
- Seguridad y Economía

Peculiaridades:

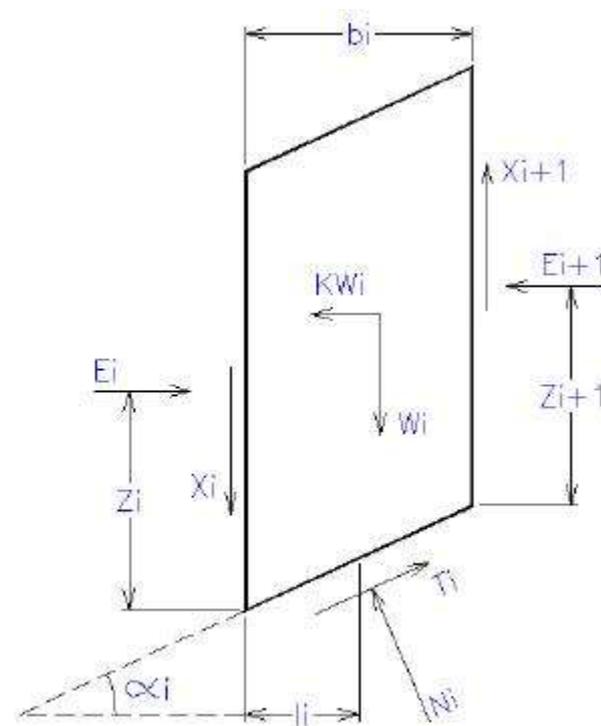
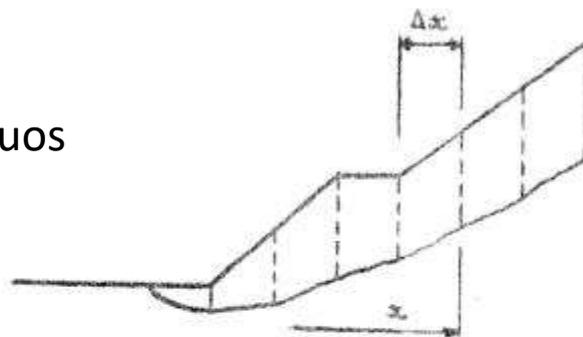
- La variabilidad de los RSU
- Descomposición Física, química y biológica de bajo la influencia de las condiciones climáticas

- Evaluación de los factores de seguridad:
 - Factor de seguridad: relación de la fuerza máxima disponible y la resistencia movilizada
 - En Brasil:
 - ABNT/NBR 11.682/2009
 - Considerando alto nivel de seguridad frente a los daños a las vidas humanas, materiales y daños al medio ambiente
 - $FS \geq 1,5$

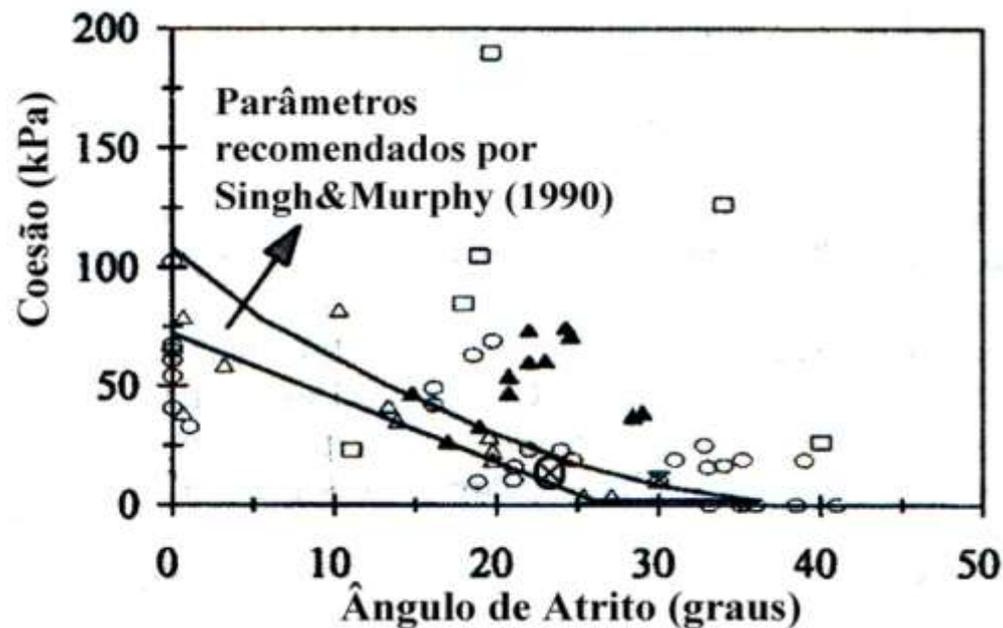
Método do Equilibrio Limite - Lamelas

Factores de intervención:

- Resistencia de los residuos
- Presiones de poro
- Densidad
- Geometría
- Tiempo y Temperatura



RESISTENCIA DE LOS RSU

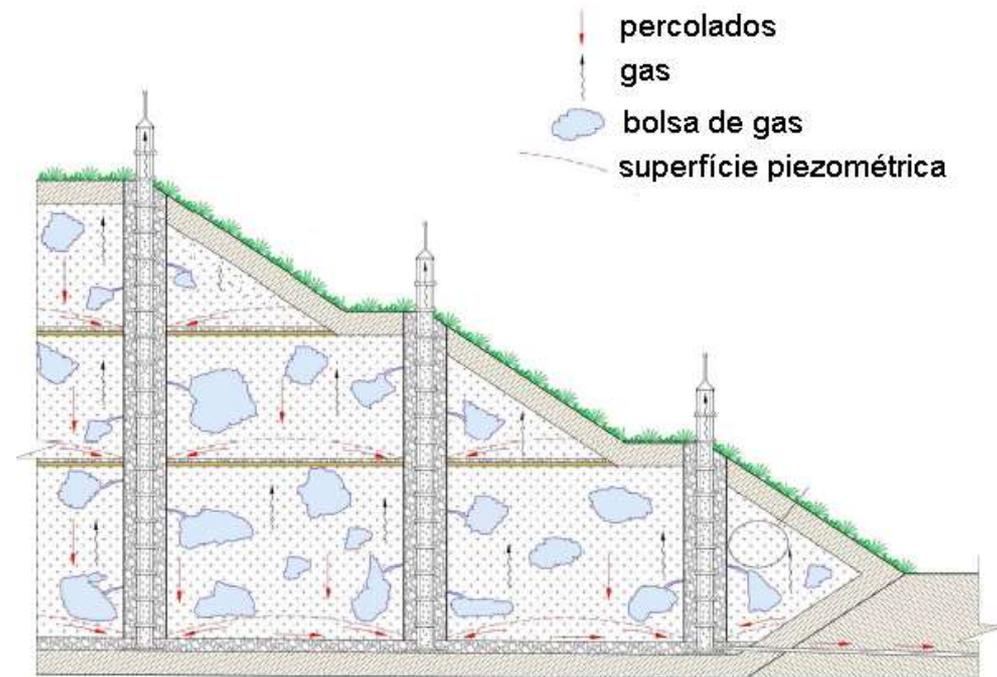


- | | |
|--------------------------------|--|
| △ Retroanálise (1) | ▲ AS Bandeirantes (2) |
| ○ Ensaio Laboratório (1) | ⊗ Retroanálise AS Bandeirantes Benvenuto & Cunha, 1991 |
| □ Köing & Jessberger, 1997 (2) | ⊠ Grisolia et al, 1995 (2) |

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

(2) Ensaios triaxiais, 20% de deformação

- Presiones de Poro:
 - Presiones de percolados / fluidos
 - La compresión de los vacíos
 - Generación de Gas



Fuente: Geotech

Fases y Etapas do Proyecto -Ampliación



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1 – Impermeabilización con el suelo y HDPE geomembrana



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1

Capa de Protección



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1

Drenaje de lixiviados y biogás



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1

Principio de la Primera Capa



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1



Fases y Etapas do Proyecto – Etapa 1



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2

Excavaciones



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2 - Etapa 2 Impermeabilización y HDPE geomembrana



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2 – Protección, Drenaje de Lixiviados e Biogás



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2

Primera Capa



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2



Fases y Etapas do Proyecto – Fase 2





RECUPERACIÓN DE VERTEDERO

MEDIDAS INMEDIATAS



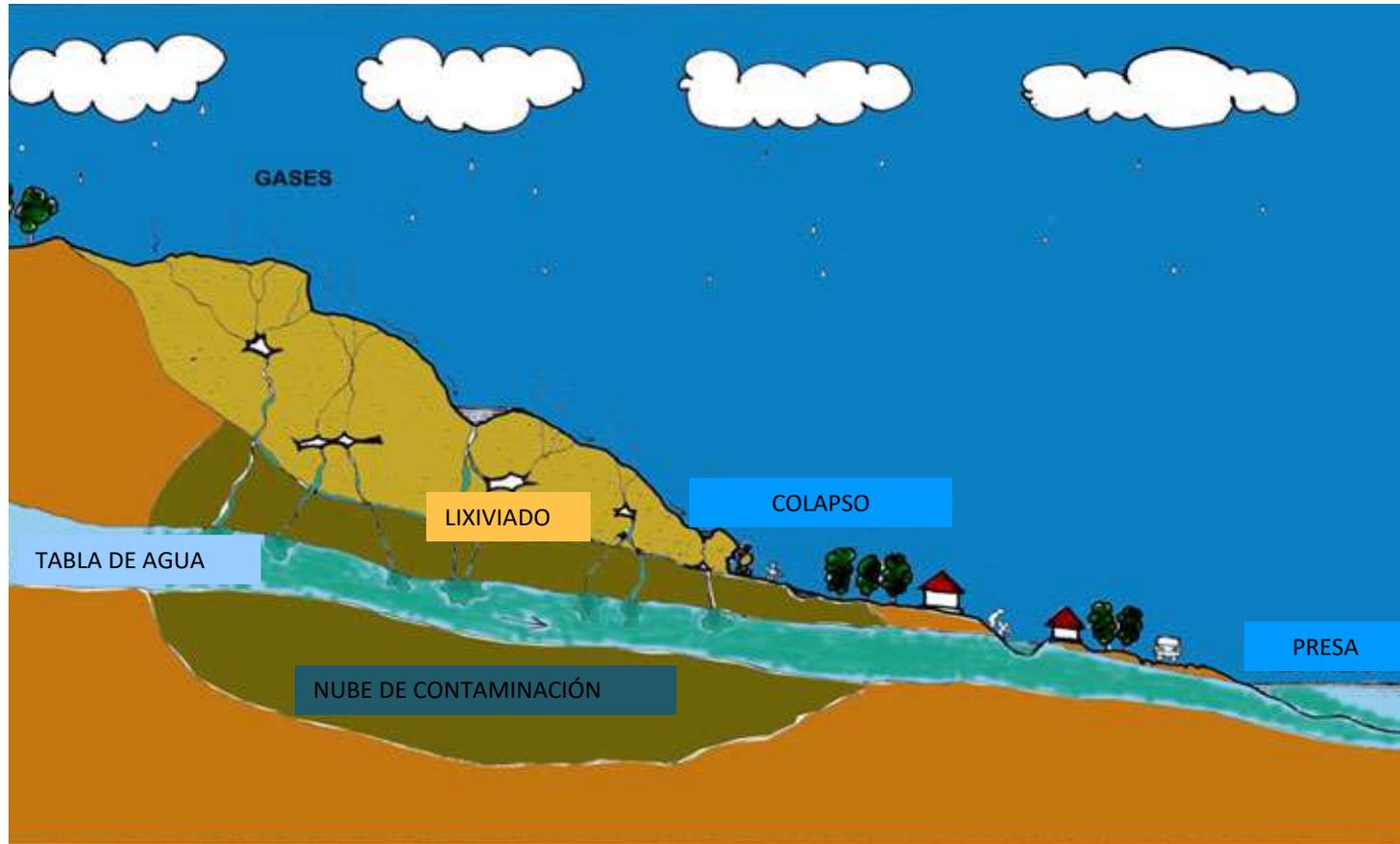
- Orientación a la población a no utilizar el agua de pozos poco profundos;
- Suspensión de actividades y registro de recicladores;
- Actualización de la topografía;
- Vigilancia de la zona; y
- El cierre de la zona.

PRINCIPALES ACCIONES A REALIZARSE EN LA ZONA DEGRADADA

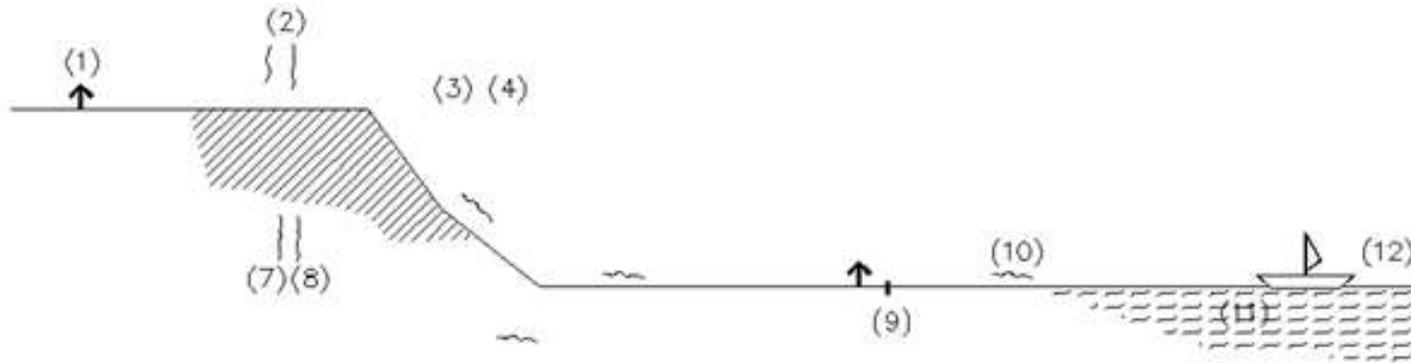


- Corregir a través de la contención de la basura;
- Drenar efluentes contaminados: lixiviados y gas;
- Garantizar la seguridad y estabilidad del macizo;
- Depuración de las aguas subterráneas contaminadas;
- Reintegrar el paisaje de la región; y
- Promover la calidad del medio ambiente.

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO AMBIENTAL



CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA



- (1) Residencias cerca de depósito de residuos/directa contaminación;
- (2) La generación de gases, humos y olores;
- (3) La presencia de macro y micro-vectores (aves necrófagas, roedores e insectos);
- (4) Aspecto agresivo y resultado estético a los residentes y usuarios de la carretera;
- (5) Erosión superficial/riesgo de deslizamiento;
- (6) La contaminación del agua de lluvia al contacto con la basura.
- (7) La contaminación del suelo;
- (8) La contaminación de las aguas subterráneas;
- (9) Uso de agua contaminada para consumo humano, animales, riego y otros usos;
- (10) La contaminación de las masas de agua superficial;
- (11) Contaminación de sedimentos profundos;
- (12) Contaminación de diversos organismos acuáticos.

POSIBILIDADES Y LÍMITES DE UTILIZACIÓN DE LA ZONA



- Uso generalizado
 - Parque público
 - Centro Deportivo
- Uso restringido
 - Puesto de investigación para la remediación ambiental y la reintegración de vertederos,
 - 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
- Mejoras asociadas
- Controlar el acceso a la zona: limitar la atracción a la ocupación ilegal

EJEMPLO DE ÁREA DEGRADADA Y SU RECUPERACIÓN



SOLVAY – Santo André /SP

ANTES DE



DESPUÉS DE





VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS EN BRAZIL

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS EN BRASIL



- En Brasil hay distintos proyectos de extracción y explotación de biogás, que permiten su utilización o comercio.
- Las plantas termoeléctricas del Relleno Sanitario Bandeirantes y São João, producen energía para el Grupo Unibanco y también se transfiere a la red pública.
- El Relleno de Gramacho tiene una unidad de extracción de biogás para comercialización a una planta de refino de Petrobras.

RELLENO SANITARIO BANDEIRANTES



Concepción:

- *Municipio de São Paulo, Rodovia dos Bandeirantes km 26;*
- *Inició su operaciones en 1979: 8.000ton/dia;*
- *~1/4 de los residuos totales de São Paulo = 30.000.000ton depositados;*
- *~100 ha;*
- *Altura 30m a 300m.*

Sistemas de Control Ambientales

- *Parte inferior sellado;*
- *Sistema de drenaje superficial;*
- *Sistema de drenaje de gas;*
- *Sistema de drenaje y eliminación de lixiviado.*
- *Lixiviados: tratamiento en SABESP.*
- *5 área de vertedero:*
 - ✓ *AS-1 e AS-2: zonas más antiguas de vertedero y están agotadas;*
 - ✓ *AS-3 y AS-4: más recientes y también están agotadas;*
 - ✓ *AS-5: completada en 2007, la mayor parte de la red de captura de biogás*



LA TERMOELECTRICA

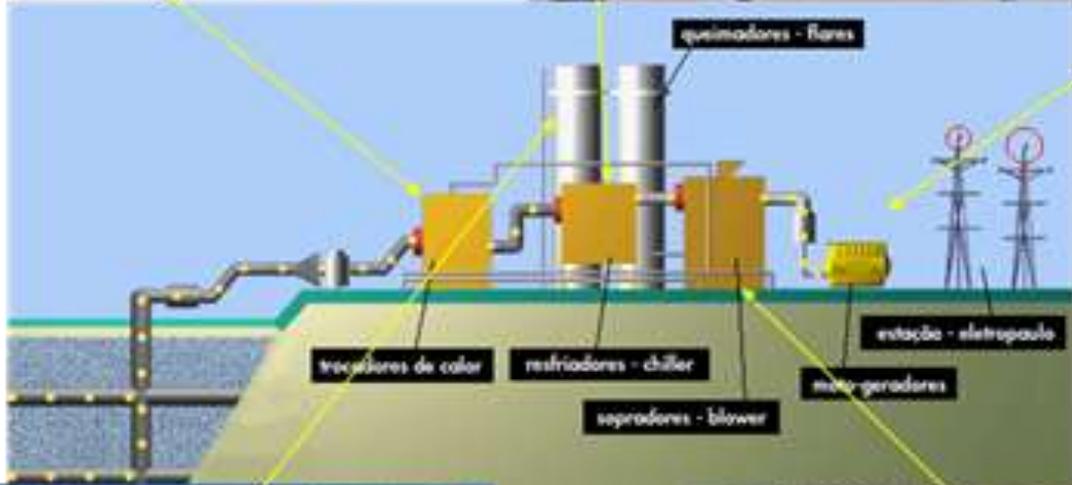


Planta da Usina de Biogás

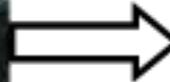
LA TERMOELECTRICA



- *Principal objetivo de la supervisión de los gases de vertedero, un proyecto de explotación de biogás para la generación de energía, es garantizar que el gas que alimentará la motogeneradores trata de planta central en un mínimo aceptable de calidad y cantidad para el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto.*
- *El Bandeirantes (termoeléctrico) UTE fue desplegado por el consorcio ambiental de la energía de biogás, formado por los Arcadis Logos, A. S. Heleno & Fonseca Construtécnica, la Builder y la operadora de los vertederos Bandeirantes y el holandés Van Der Wiel.*
- *Hay U\$17 millones en inversión.*
- *20 MW de potencia eléctrica instalada.*
- *24 grupos de generadores de funcionamiento a plena carga.*
- *Producir 170 mil MW/hora/año, suficiente energía para alimentar una ciudad de 300 mil habitantes durante 15 años.*
- *El proyecto evita las emisiones de aproximadamente de 16,1 millones de toneladas de carbono .*
- *Capacidad para capturar 18 mil³ /m de metano de biogás por lo menos 50%.*
- *12 mil³x m/hora se consumen para generar energía y cumplir el contrato oferta cerrada con Banco Unibanco.*
- *Cuando llega su captura de gas de plena capacidad, la planta tendrá el equivalente de un millón de créditos de carbono por año.*



SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE BIOGÁS



3



4

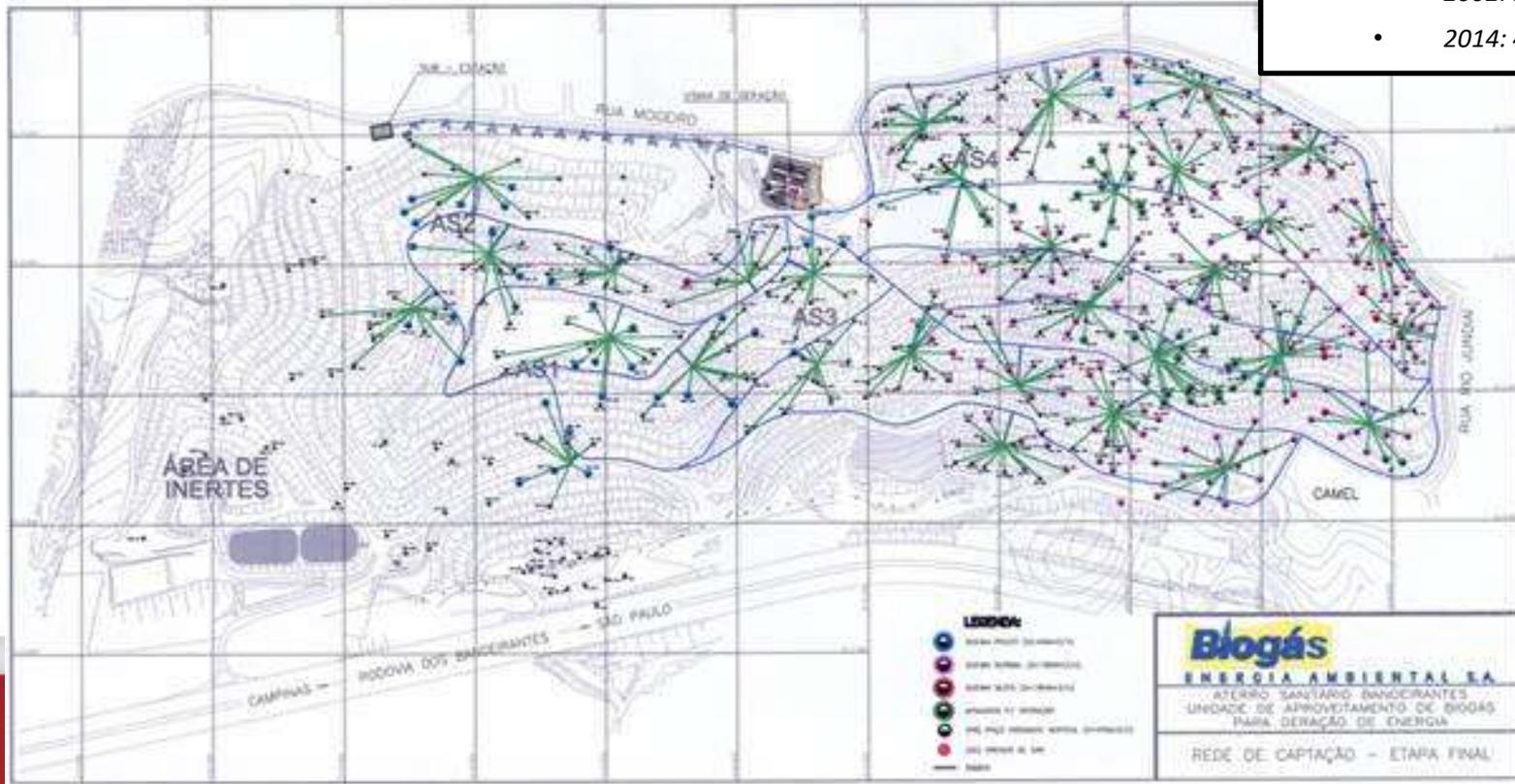


EXPLORAÇÃO DE BIOGÁS - BANDEIRANTES

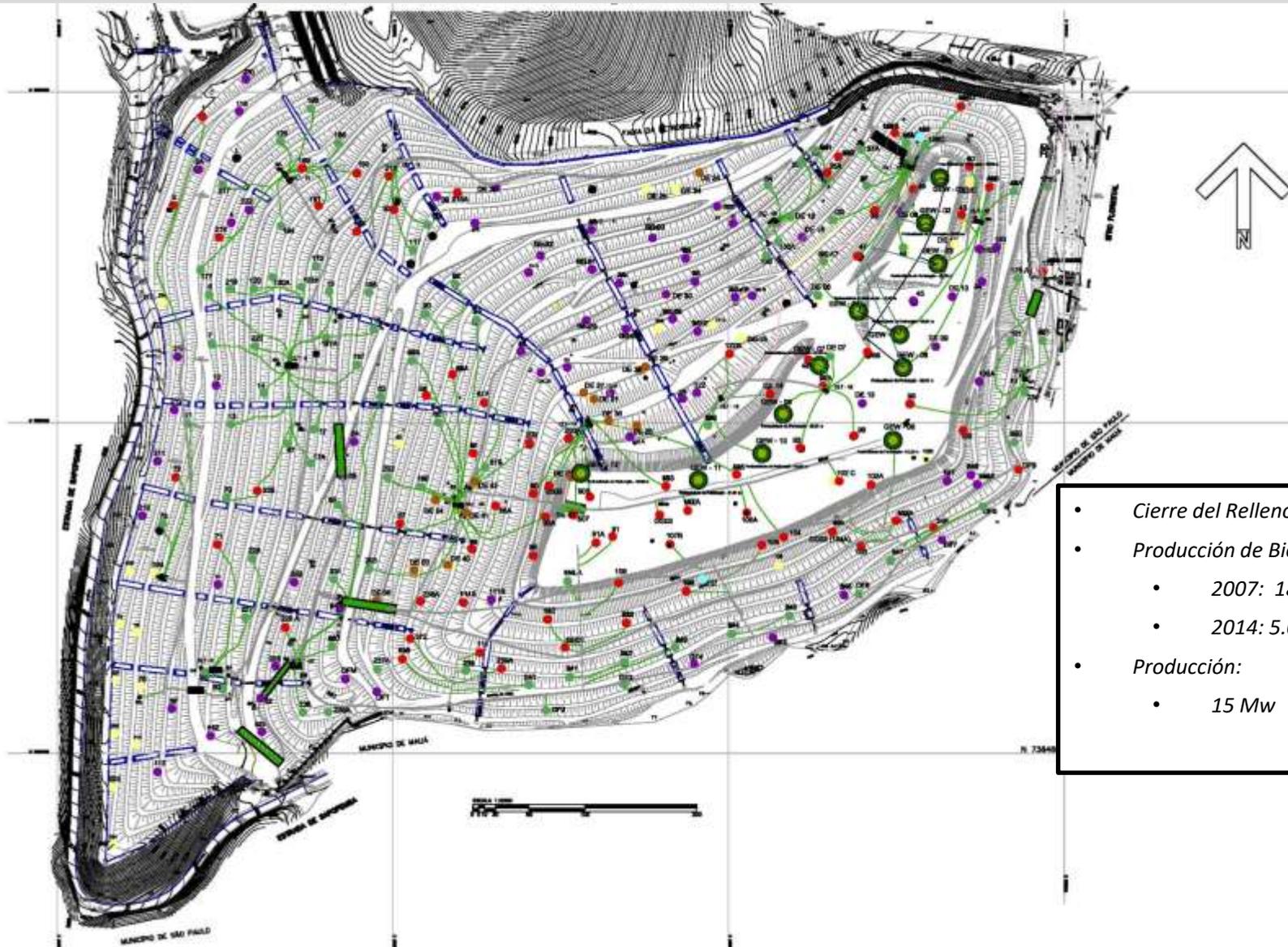


- 20 km de tuberia secundaria (pozo: selector)
- 20 km de tuberia principal (coleccionistas: centrales)
- 280 pozos en operacion
- Formando una red que cubre casi la totalidad de lo vertedor

- Cierre del Relleno: 2001
- Producción de Biogás:
 - 2002: 8.500 Nm³/h
 - 2014: 4.000 Nm³/h
- Capac. De Generación:
 - 2002: 10Mw
 - 2014: 4Mw



EXPLORACIÓN DE BIOGÁS – SÃO JOÃO



- Cierre del Relleno: 2007
- Producción de Biogás:
 - 2007: 18.000 Nm³/h
 - 2014: 5.000 Nm³/h
- Producción:
 - 15 Mw

ESTUDIO DE BIOGÁS DE VERTEDERO DE EMISIONES FUGITIVAS EM BANDEIRANTES



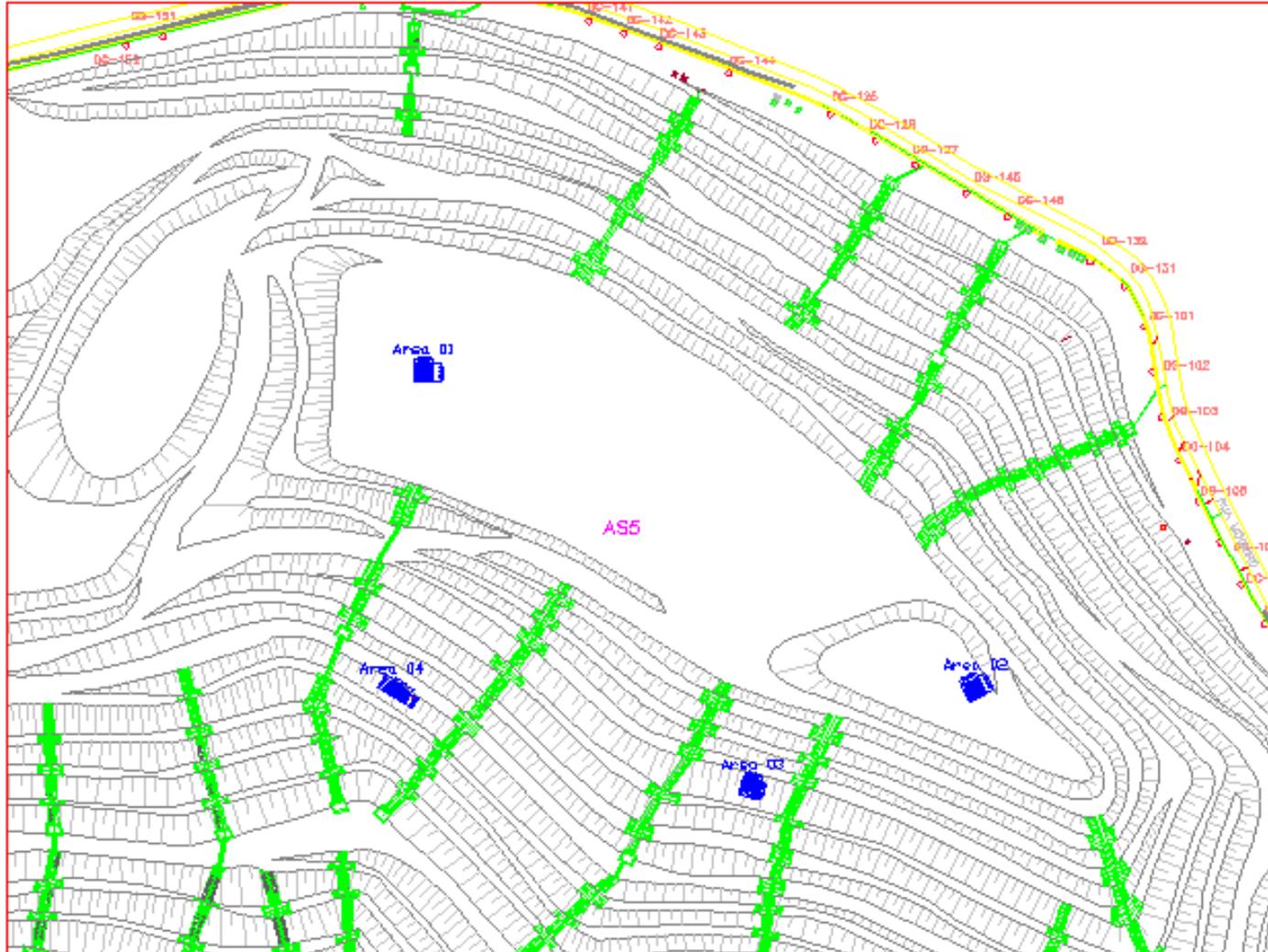
Objetivo

Para evaluar la fuga de biogás por superficie de vertedero de Bandeirantes, tanto por las laderas y la meseta, fueron escogidos al azar, cuatro áreas distintas, donde se instalaron las lonas de polietileno.

Características de las Zonas:

- Zona 1
 - Dimensiones: $10\text{m} \times 10\text{m} = 100\text{m}^2$;
 - Promedio del espesor de cobertura: 27 cm;
 - Área en la meseta;
 - Presencia de fisuras.
- Zona 2
 - Dimensiones: $10\text{m} \times 10\text{m} = 100\text{m}^2$;
 - Promedio del espesor de cobertura: 48 cm;
 - Área en la meseta;
 - Poca presencia de fisuras.
- Zona 3
 - Dimensiones: $10\text{m} \times 10\text{m} = 100\text{m}^2$;
 - Promedio del espesor de cobertura: 40cm;
 - Área de pendiente;
 - Presencia de fisuras;
 - Signos aguas abajo;
 - Cubrir muertos.
- Zona 4
 - Dimensiones: $11\text{m} \times 6\text{m} = 100\text{m}^2$;
 - Promedio del espesor de cobertura: 46 cm;
 - Área de pendiente;
 - Poca presencia de fisuras;
 - Signos aguas abajo;
 - Cubrir muertos.

LA UBICACIÓN DE LAS ZONAS



METODOLOGÍA



Zona 1



Zona 2



Zona 3



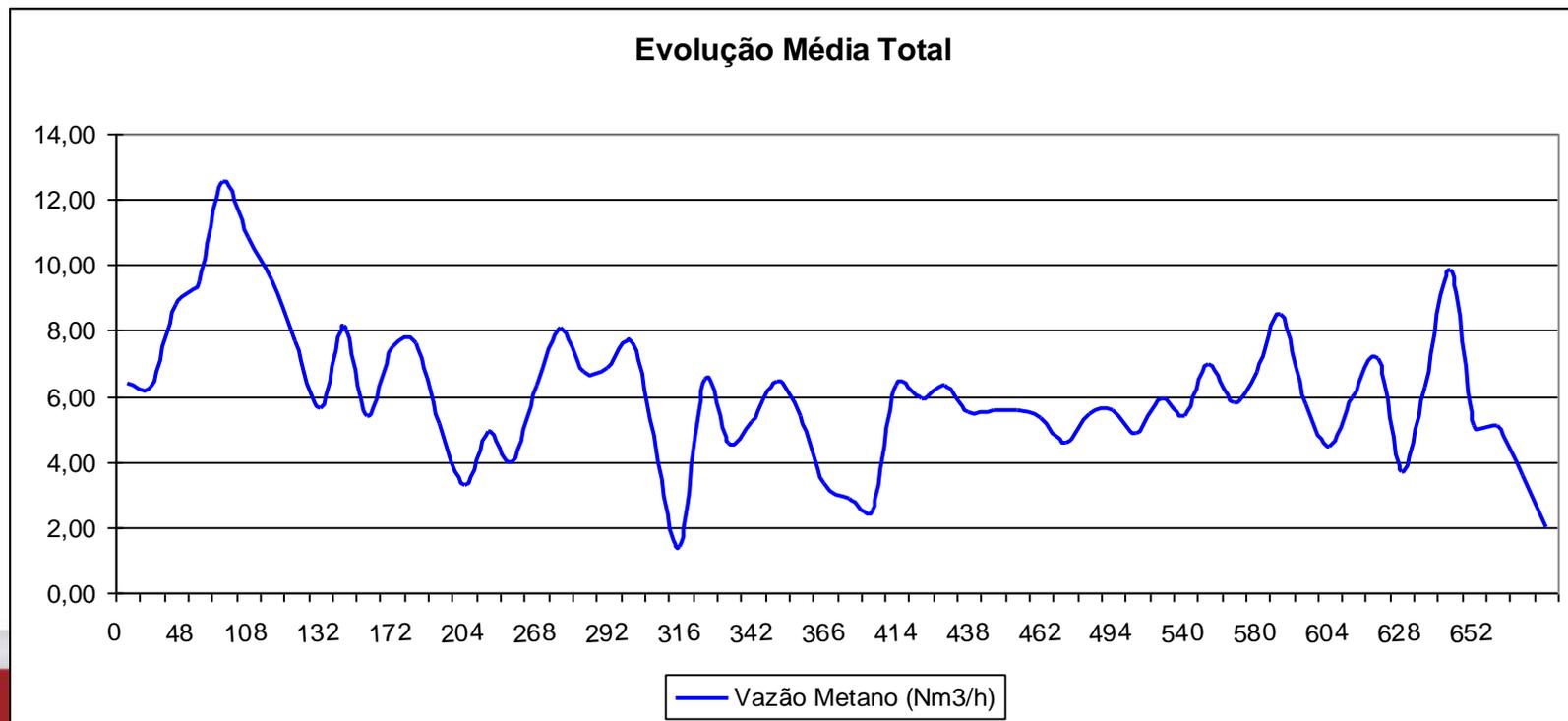
Zona 4

RESULTADOS



Las mediciones se realizaron en un período de 30 (treinta) días en 2006, con la excepción de la zona 2, que, debido a la promoción de la eliminación de los residuos, estaba fuera de 7 (siete) días antes. Fueron capturados los niveles de metano (CH₄), oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂).

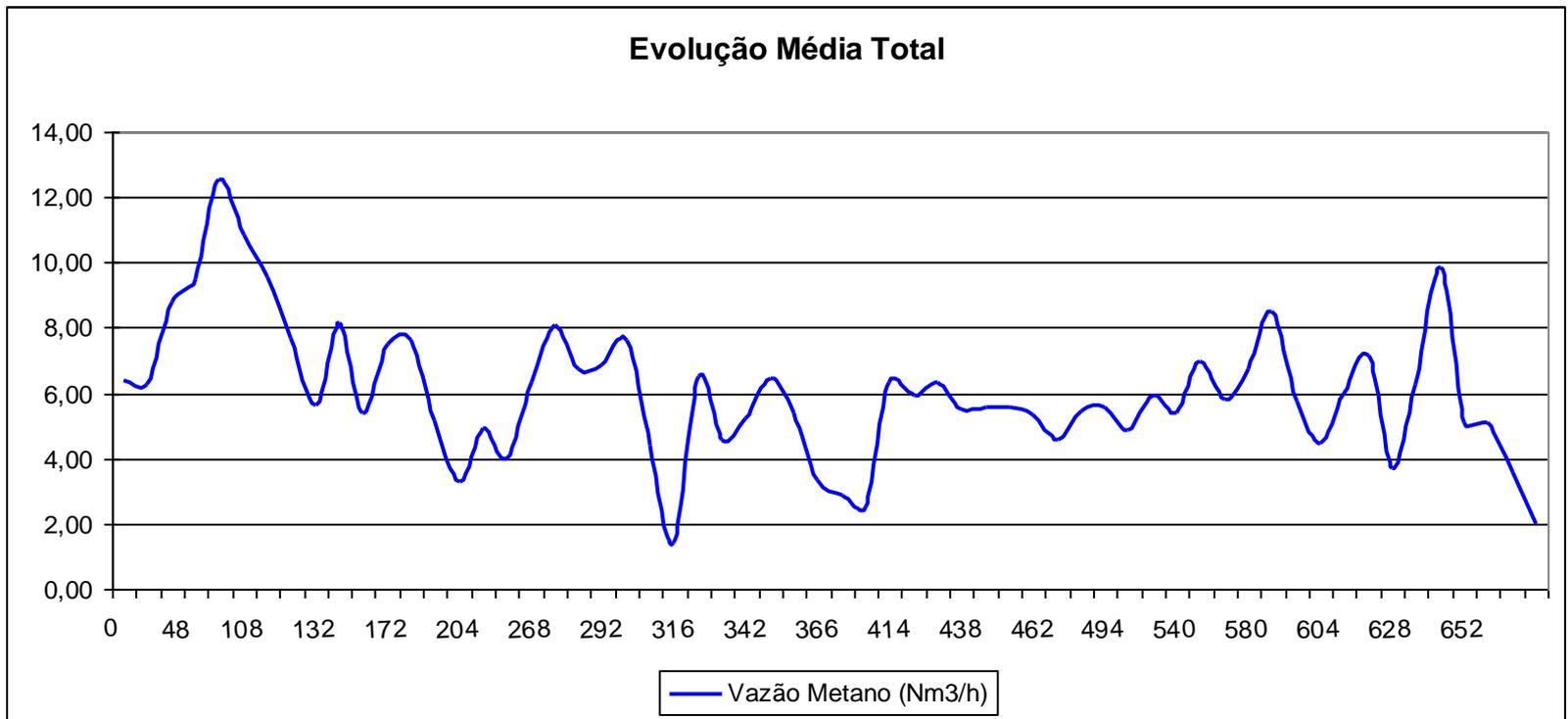
Caudal de metano = 6,01Nm³/h y 0,061Nm³/h.m²o 1,464N.m³/día m²

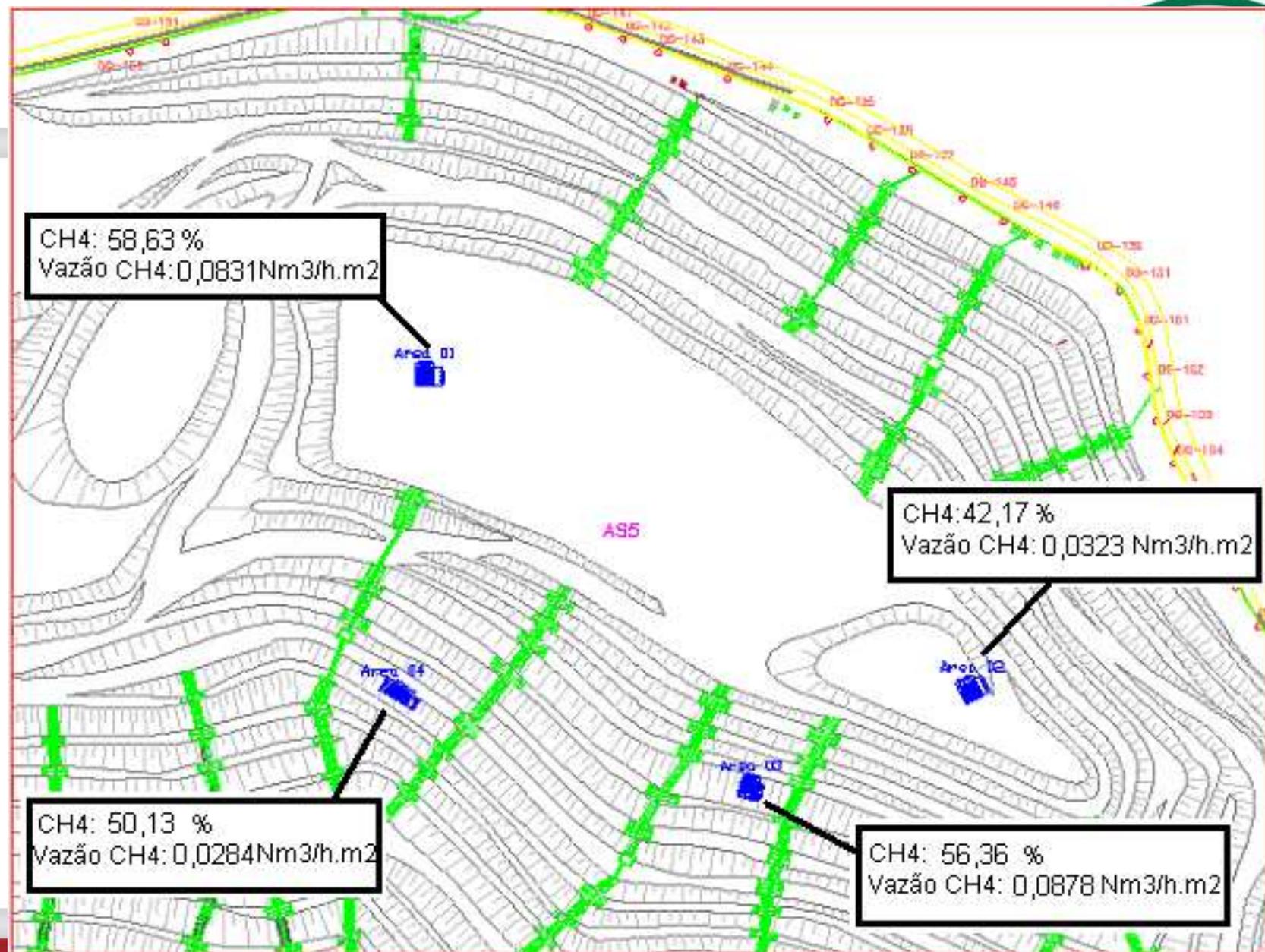


TODAS LAS ZONAS



Caudal de metano = $6,01\text{Nm}^3/\text{h}$ y $0,061\text{Nm}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ o $1,464\text{N}\cdot\text{m}^3/\text{día m}^2$







***DIEZ PROYECTOS BRASILEÑOS
LA GENERACIÓN DE INGRESOS
EN LOS RELLENOS***

| Agente | Local | Expectativa de la operación | Niveles de reducción | Actividad | Período de acreditación |
|--|---|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|--|
| Proyecto 0008 Brasil Nova Gerar Landfill Gas to Energy Project Ecosecurities Ltda. | Rellenos da Marambaia e Adrianópolis (RJ) | 21 anos | 670.000 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º jul 2004 - 30 jun 2011 (renovables) |
| Proyecto 0052 Salvador, Bahia Landfill Gas Management Project Shell Trading International Ltda. (JK) | Relleno Municipal do Centro - Salvador (BA) | 20 anos | 664.674 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º jan 2004 - 31 dez 2010 (renovables) |
| Proyecto 0373 São João Landfill Gas to Energy Project (SP) Biogás Energia Ambiental | Relleno Sanitario São João - São Paulo (SP) | 21 anos | 816.940 ton m equiv CO ₂ | gran | 30 jun 2006 - 29 jun 2013 (renovables) |
| Proyecto 0091 Landfill Gas to Energy Project at Lara Landfill, Mauá Lara Co-Geração e Comércio de Energia Ltda. | Relleno Sanitario Lara - Mauá (SP) | 20 anos | 751.148 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º abr 2006 - 31 mar 2013 (renovables) |
| Proyecto 0171 Caieiras Landfill Gas Emission Reduction Essencis Soluções Ambientais S.A. | CTR Caieiras - Caieiras (SP) | 20 anos | 770.932 ton m equiv CO ₂ | gran | 31 mar 2006 - 30 mar 2013 (renovables) |
| Proyecto 0165 Estre's Paulínia Landfill Gas Project (EPLGP) Estre e Econergy Brasil | CGR Paulínia - Paulínia (SP) | 20 anos | 212.558 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º mai 2006 - 30 abr 2013 (renovables) |

| Agente | Local | Expectativa de la operación | Niveles de reducción | Actividad | Período de acreditación |
|--|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------|--|
| Proyecto 0164 Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project (BLFGE) Biogás Energia Ambiental S.A. | Relleno Bandeirantes - São Paulo (SP) | 30 anos | 1.070.649 ton m equiv CO ₂ | gran | 23 dez 2003 - 22 dez 2010 (renovables) |
| Proyecto 0137 Brazil MARCA Landfill Gas to Energy Project Ecosecurities Ltda. | Relleno Marca - Cariacica (ES) | 21 anos | 231.405 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º jul 2004 - 30 jun 2011 (renovables) |
| Proyecto 0027 Onyx Landfill Gas Recovery Project - Tremembé - Brazil Onyx de France | Relleno SASA - Tremembé (SP) | 21 anos | 70.063 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º jan 2003 - 31 dez 2012 (renovables) |
| 0076/2006 Proyecto de Gás de Aterro Sanitário Canabrava - Salvador (BA) Conestoga - Rovers e Assoc Engenharia S.A. | Relleno Sanitario de Canabrava - Salvador (BA) | 10 anos | 2.143.052 ton m equiv CO ₂ | gran | no determinado |
| Proyecto 0164 Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project (BLFGE) Biogás Energia Ambiental S.A. | Relleno Bandeirantes - São Paulo (SP) | 30 anos | 1.070.649 ton m equiv CO ₂ | gran | 23 dez 2003 - 22 dez 2010 (renovables) |
| Proyecto 0137 Brazil MARCA Landfill Gas to Energy Project Ecosecurities Ltda. | Relleno Marca - Cariacica (ES) | 21 anos | 231.405 ton m equiv CO ₂ | gran | 1º jul 2004 - 30 jun 2011 (renovables) |



EJERCICIOS PRÁCTICO

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 1A: ¿Cuál es el volumen total de los residuos domésticos que ser eliminados para una vida útil de 20 años?



| Año | Número de habitantes | Residuos Domésticos Recogidos (ton/año) | Volumen de residuos (m ³) | Solo de Cobertura (m ³) | Volumen Total Anual (m ³) |
|-----|----------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 75.000 | 16.425 | | | |
| 2 | 75.450 | 16.524 | | | |
| 3 | 75.903 | 16.623 | | | |
| 4 | 76.358 | 16.722 | | | |
| 5 | 76.816 | 16.823 | | | |
| 6 | 77.277 | 16.924 | | | |
| 7 | 77.741 | 17.025 | | | |
| 8 | 78.207 | 17.127 | | | |
| 9 | 78.677 | 17.230 | | | |
| 10 | 79.149 | 17.334 | | | |
| 11 | 79.623 | 17.438 | | | |
| 12 | 80.101 | 17.542 | | | |
| 13 | 80.582 | 17.647 | | | |
| 14 | 81.065 | 17.753 | | | |
| 15 | 81.552 | 17.860 | | | |
| 16 | 82.041 | 17.967 | | | |
| 17 | 82.533 | 18.075 | | | |
| 18 | 83.028 | 18.183 | | | |
| 19 | 83.527 | 18.292 | | | |
| 20 | 84.028 | 18.402 | | | |
| | | | | | |

Ejercicio Práctico

$$\gamma = 0,9 \text{ t/m}^3$$



RESPUESTA 1A: ¿Cuál es el volumen total de los residuos domésticos que ser eliminados para una vida útil de 20 años?

| Año | Número de habitantes | Residuos Domésticos Recogidos (ton/año) | Volumen de residuos (m ³) | Solo de Cobertura (m ³) | Volumen Total Anual (m ³) |
|-----|----------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 75.000 | 16.425 | 18.250 | | |
| 2 | 75.450 | 16.524 | 18.360 | | |
| 3 | 75.903 | 16.623 | 18.470 | | |
| 4 | 76.358 | 16.722 | 18.580 | | |
| 5 | 76.816 | 16.823 | 18.692 | | |
| 6 | 77.277 | 16.924 | 18.804 | | |
| 7 | 77.741 | 17.025 | 18.917 | | |
| 8 | 78.207 | 17.127 | 19.030 | | |
| 9 | 78.677 | 17.230 | 19.144 | | |
| 10 | 79.149 | 17.334 | 19.260 | | |
| 11 | 79.623 | 17.438 | 19.376 | | |
| 12 | 80.101 | 17.542 | 19.491 | | |
| 13 | 80.582 | 17.647 | 19.608 | | |
| 14 | 81.065 | 17.753 | 19.726 | | |
| 15 | 81.552 | 17.860 | 19.844 | | |
| 16 | 82.041 | 17.967 | 19.963 | | |
| 17 | 82.533 | 18.075 | 20.083 | | |
| 18 | 83.028 | 18.183 | 20.203 | | |
| 19 | 83.527 | 18.292 | 20.324 | | |
| 20 | 84.028 | 18.402 | 20.447 | | |
| | | | 386.573 | | |

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 1B: ¿Cuál es el volumen total de suelo cobertura a una vida útil de 20 años?



| Año | Número de habitantes | Residuos Domésticos Recogidos (ton/año) | Volumen de residuos (m ³) | Solo de Cobertura (m ³) | Volumen Total Anual (m ³) |
|-----|----------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 75.000 | 16.425 | 18.250 | | |
| 2 | 75.450 | 16.524 | 18.360 | | |
| 3 | 75.903 | 16.623 | 18.470 | | |
| 4 | 76.358 | 16.722 | 18.580 | | |
| 5 | 76.816 | 16.823 | 18.692 | | |
| 6 | 77.277 | 16.924 | 18.804 | | |
| 7 | 77.741 | 17.025 | 18.917 | | |
| 8 | 78.207 | 17.127 | 19.030 | | |
| 9 | 78.677 | 17.230 | 19.144 | | |
| 10 | 79.149 | 17.334 | 19.260 | | |
| 11 | 79.623 | 17.438 | 19.376 | | |
| 12 | 80.101 | 17.542 | 19.491 | | |
| 13 | 80.582 | 17.647 | 19.608 | | |
| 14 | 81.065 | 17.753 | 19.726 | | |
| 15 | 81.552 | 17.860 | 19.844 | | |
| 16 | 82.041 | 17.967 | 19.963 | | |
| 17 | 82.533 | 18.075 | 20.083 | | |
| 18 | 83.028 | 18.183 | 20.203 | | |
| 19 | 83.527 | 18.292 | 20.324 | | |
| 20 | 84.028 | 18.402 | 20.447 | | |
| | | | 386.573 | | |

Ejercicio Práctico

Tx Vol. Cobert. \approx 13%



RESPUESTA 1B: ¿Cuál es el volumen total de suelo cobertura a una vida útil de 20 años?

| Año | Número de habitantes | Residuos Domésticos Recogidos (ton/año) | Volumen de residuos (m ³) | Solo de Cobertura (m ³) | Volumen Total Anual (m ³) |
|-----|----------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 75.000 | 16.425 | 18.250 | 2.373 | |
| 2 | 75.450 | 16.524 | 18.360 | 2.387 | |
| 3 | 75.903 | 16.623 | 18.470 | 2.401 | |
| 4 | 76.358 | 16.722 | 18.580 | 2.415 | |
| 5 | 76.816 | 16.823 | 18.692 | 2.430 | |
| 6 | 77.277 | 16.924 | 18.804 | 2.445 | |
| 7 | 77.741 | 17.025 | 18.917 | 2.459 | |
| 8 | 78.207 | 17.127 | 19.030 | 2.474 | |
| 9 | 78.677 | 17.230 | 19.144 | 2.489 | |
| 10 | 79.149 | 17.334 | 19.260 | 2.504 | |
| 11 | 79.623 | 17.438 | 19.376 | 2.519 | |
| 12 | 80.101 | 17.542 | 19.491 | 2.534 | |
| 13 | 80.582 | 17.647 | 19.608 | 2.549 | |
| 14 | 81.065 | 17.753 | 19.726 | 2.564 | |
| 15 | 81.552 | 17.860 | 19.844 | 2.580 | |
| 16 | 82.041 | 17.967 | 19.963 | 2.595 | |
| 17 | 82.533 | 18.075 | 20.083 | 2.611 | |
| 18 | 83.028 | 18.183 | 20.203 | 2.626 | |
| 19 | 83.527 | 18.292 | 20.324 | 2.642 | |
| 20 | 84.028 | 18.402 | 20.447 | 2.658 | |
| | | | 386.573 | 50.255 | |

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 1C: ¿Cuál es el volumen total del relleno (residuos + suelo de cobertura)?



| Año | Número de habitantes | Residuos Domésticos Recogidos (ton/año) | Volumen de residuos (m ³) | Suelo de Cobertura (m ³) | Volumen Total Anual (m ³) |
|-----|----------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 75.000 | 16.425 | 18.250 | 2.373 | |
| 2 | 75.450 | 16.524 | 18.360 | 2.387 | |
| 3 | 75.903 | 16.623 | 18.470 | 2.401 | |
| 4 | 76.358 | 16.722 | 18.580 | 2.415 | |
| 5 | 76.816 | 16.823 | 18.692 | 2.430 | |
| 6 | 77.277 | 16.924 | 18.804 | 2.445 | |
| 7 | 77.741 | 17.025 | 18.917 | 2.459 | |
| 8 | 78.207 | 17.127 | 19.030 | 2.474 | |
| 9 | 78.677 | 17.230 | 19.144 | 2.489 | |
| 10 | 79.149 | 17.334 | 19.260 | 2.504 | |
| 11 | 79.623 | 17.438 | 19.376 | 2.519 | |
| 12 | 80.101 | 17.542 | 19.491 | 2.534 | |
| 13 | 80.582 | 17.647 | 19.608 | 2.549 | |
| 14 | 81.065 | 17.753 | 19.726 | 2.564 | |
| 15 | 81.552 | 17.860 | 19.844 | 2.580 | |
| 16 | 82.041 | 17.967 | 19.963 | 2.595 | |
| 17 | 82.533 | 18.075 | 20.083 | 2.611 | |
| 18 | 83.028 | 18.183 | 20.203 | 2.626 | |
| 19 | 83.527 | 18.292 | 20.324 | 2.642 | |
| 20 | 84.028 | 18.402 | 20.447 | 2.658 | |
| | | | 386.573 | 50.255 | |

Ejercicio Práctico

RESPUESTA 1C: ¿Cuál es el volumen total del relleno (residuos+suleo de cobertura)?



| Año | Número de habitantes | Residuos Domésticos Recogidos (ton/año) | Volumen de residuos (m ³) | Solo de Cobertura (m ³) | Volumen Total Anual (m ³) |
|-----|----------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 75.000 | 16.425 | 18.250 | 2.373 | 20.623 |
| 2 | 75.450 | 16.524 | 18.360 | 2.387 | 20.747 |
| 3 | 75.903 | 16.623 | 18.470 | 2.401 | 20.871 |
| 4 | 76.358 | 16.722 | 18.580 | 2.415 | 20.995 |
| 5 | 76.816 | 16.823 | 18.692 | 2.430 | 21.122 |
| 6 | 77.277 | 16.924 | 18.804 | 2.445 | 21.249 |
| 7 | 77.741 | 17.025 | 18.917 | 2.459 | 21.376 |
| 8 | 78.207 | 17.127 | 19.030 | 2.474 | 21.504 |
| 9 | 78.677 | 17.230 | 19.144 | 2.489 | 21.633 |
| 10 | 79.149 | 17.334 | 19.260 | 2.504 | 21.764 |
| 11 | 79.623 | 17.438 | 19.376 | 2.519 | 21.895 |
| 12 | 80.101 | 17.542 | 19.491 | 2.534 | 22.025 |
| 13 | 80.582 | 17.647 | 19.608 | 2.549 | 22.157 |
| 14 | 81.065 | 17.753 | 19.726 | 2.564 | 22.290 |
| 15 | 81.552 | 17.860 | 19.844 | 2.580 | 22.424 |
| 16 | 82.041 | 17.967 | 19.963 | 2.595 | 22.558 |
| 17 | 82.533 | 18.075 | 20.083 | 2.611 | 22.694 |
| 18 | 83.028 | 18.183 | 20.203 | 2.626 | 22.829 |
| 19 | 83.527 | 18.292 | 20.324 | 2.642 | 22.966 |
| 20 | 84.028 | 18.402 | 20.447 | 2.658 | 23.105 |
| | | | 386.573 | 50.255 | 436.828 |



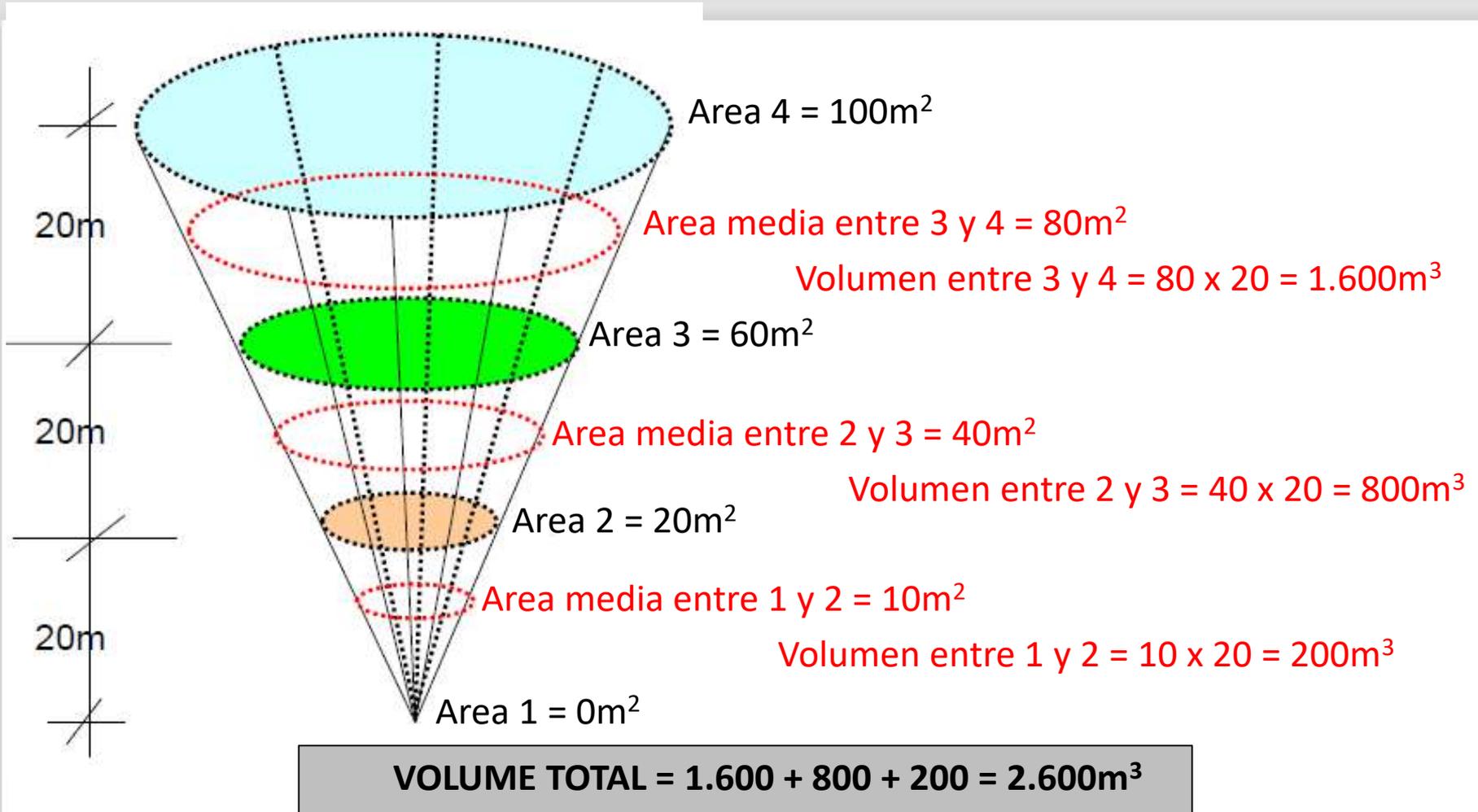
Donde se extraído este suelo de cobertura?

**El área del relleno sanitario, con
excavaciones**

Ejercicio Práctico

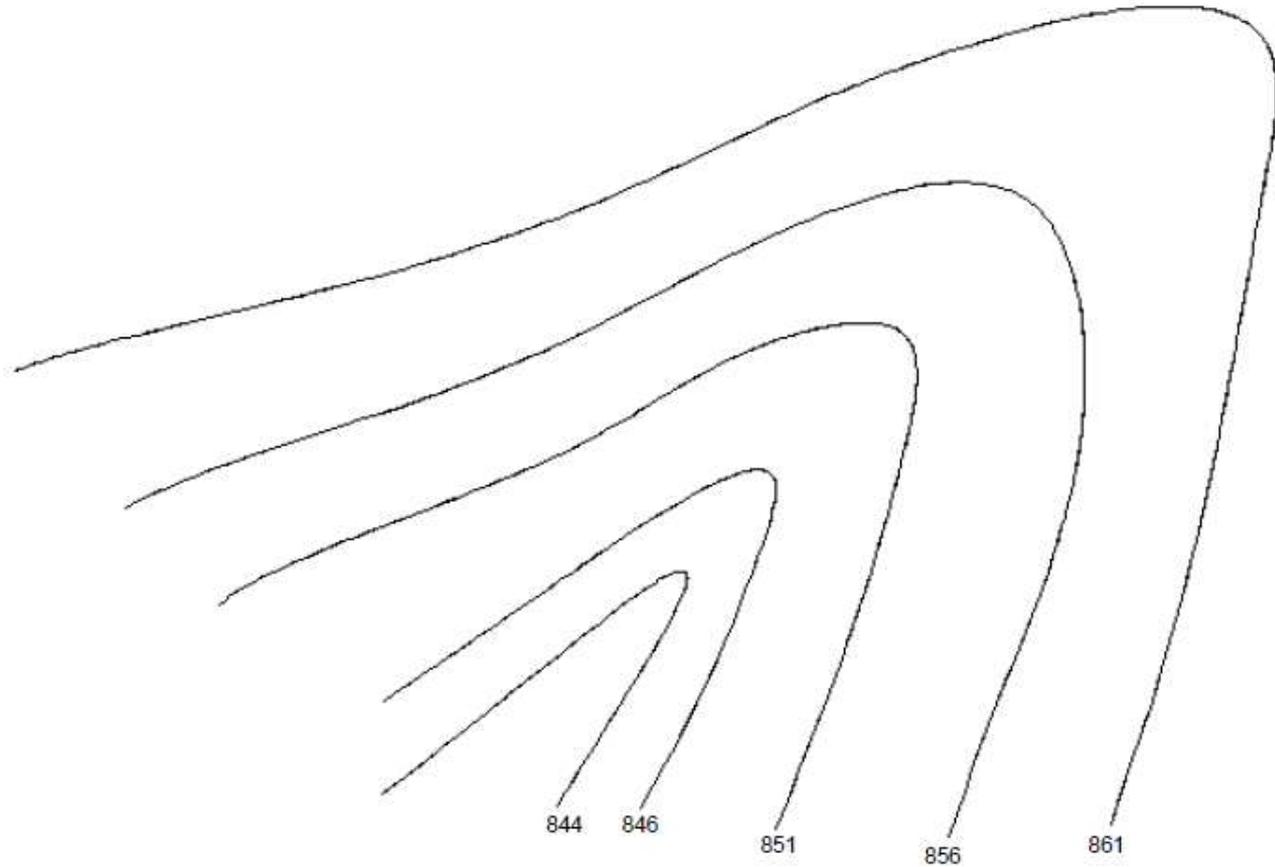


Cálculo del volumen de una figura



Ejercicio Práctico

Cálculo del volumen de terreno



Ejercicio Práctico

Cálculo del volumen de terreno



$$\text{VOLUME}_{\text{cota 844 a 846}} = (2.432+840)/2 * (846-842) = 3.272\text{m}^3$$

Ejercicio Práctico

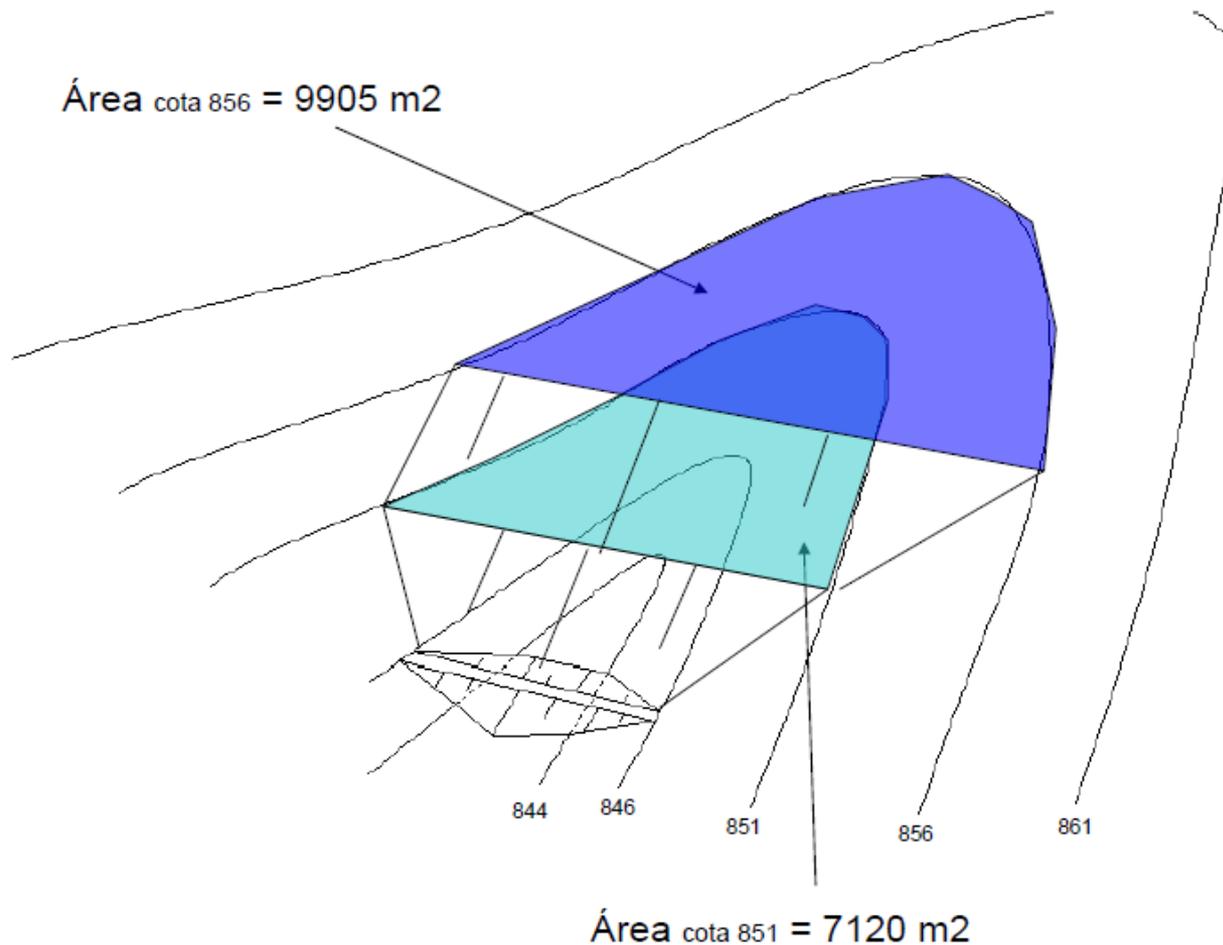
Cálculo del volumen de terreno



$$\text{VOLUME}_{\text{cota 846 a 851}} = (7.120 + 2.432) / 2 * (851 - 846) = 23.880 \text{ m}^3$$

Ejercicio Práctico

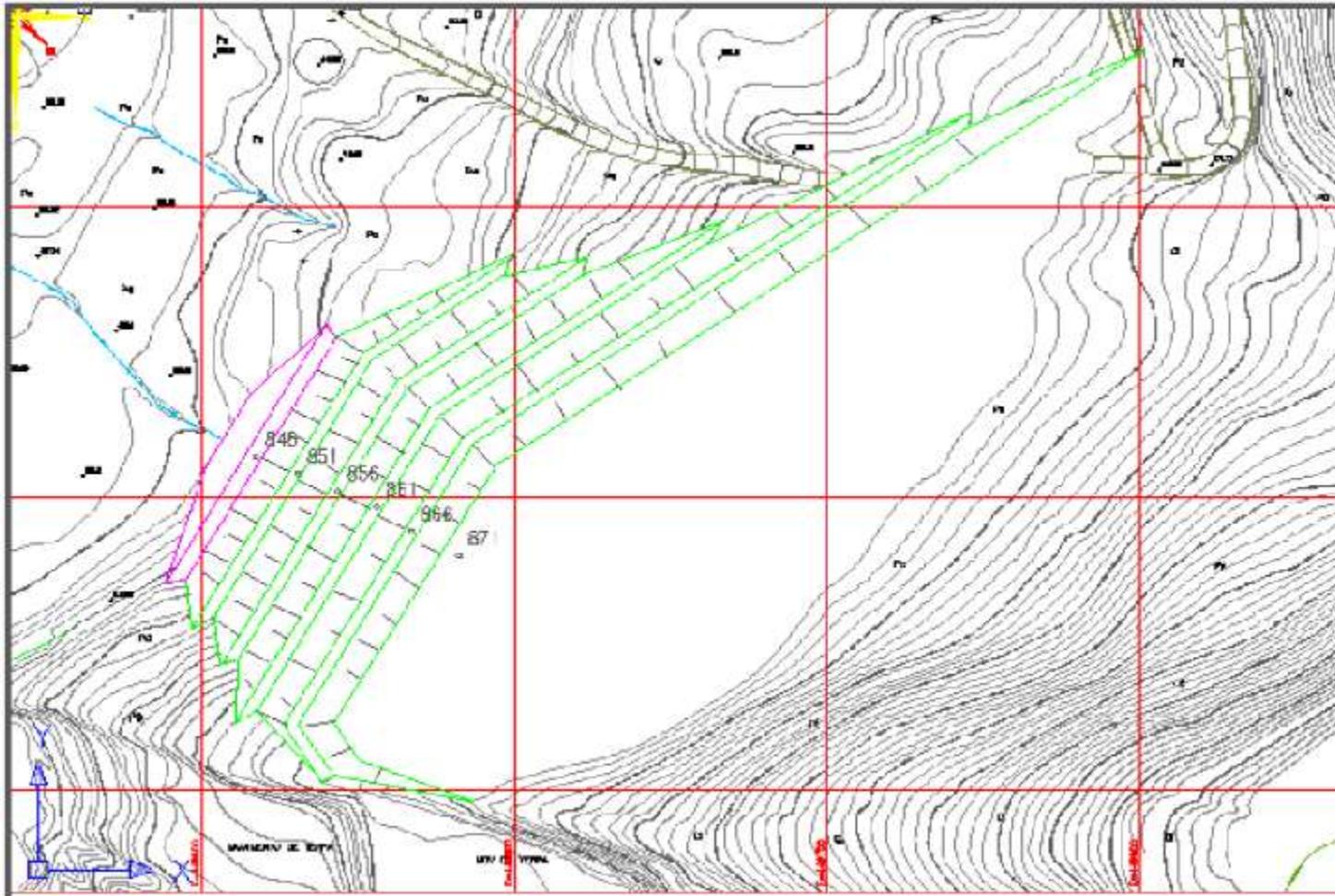
Cálculo del volumen de terreno



$$\text{VOLUME}_{\text{cota 851 a 856}} = (9.905 + 7.120) / 2 * (856 - 851) = 42.563 \text{ m}^3$$

Ejercicio Práctico

Cálculo del volumen de terreno



Ejercicio Práctico

PREGUNTA 2:



¿Cuál es el volumen total del relleno proyectado?

Este relleno sanitario tiene la capacidad de recibir todos los residuos de la ciudad durante 20 años?

| cota | area total do aterro (m2) | area na cota (m2) | area media (m2) | altura (m) | volumen (m3) | volumen acumulado (m3) |
|-------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|------------|--------------|------------------------|
| 844 (base do aterro) | 840 | 840 | | | | |
| | | | 1.636 | 2 | 3.272 | 3.272 |
| 846 (crista do dique) | 3.500 | 2.432 | | | | |
| | | | 4.776 | 5 | 23.880 | 27.152 |
| 851 (1a berma) | 12.000 | 7.120 | | | | |
| | | | 8.513 | 5 | 42.563 | 69.715 |
| 856 (2a. Berma) | 22.500 | 9.905 | | | | |
| | | | 11.389 | 5 | 56.945 | 126.660 |
| 861(3a berma) | 33.600 | 12.873 | | | | |
| | | | 17.997 | 5 | 89.983 | 216.642 |
| 866 (4a berma) | 54.200 | 23.120 | | | | |
| | | | 24.339 | 5 | 121.693 | 338.335 |
| 871 (topo do aterro) | 65.000 | 25.557 | | | | |

Volumen do relleno proyectado (a cota 871m) es de **338.335m³**

MENOS QUE LO NECESARIO, 436.828m³

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 2:



En el caso negativo, ¿qué se puede hacer para aumentar este volumen?

Podemos obtener el volumen necesario de dos maneras:

Alternativa 1: AUMENTAR EL RELLENO SANITARIO EN OTRO NIVEL DE LA CUOTA 876

Alternativa 2: DE EXCAVACIÓN MÁS A ÁREA

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 2:



¿Cuál es la mejor alternativa?

Alternativa 1: AUMENTAR EL RELLENO SANITARIO EN OTRO NIVEL DE LA CUOTA 876

| cota | área (m2) | área media (m2) | altura (m) | volumen (m3) | volumen acumulado (m3) |
|-------------------------|-----------|-----------------|------------|--------------|------------------------|
| 844 (base do aterro) | 840 | | | | |
| | | 1.636 | 2 | 3.272 | 3.272 |
| 846 (crista do dique) | 2.432 | | | | |
| | | 4.776 | 5 | 23.880 | 27.152 |
| 851 (1a berma) | 7.120 | | | | |
| | | 8.513 | 5 | 42.563 | 69.715 |
| 856 (2a. Berma) | 9.905 | | | | |
| | | 11.389 | 5 | 56.945 | 126.660 |
| 861 (3a berma) | 12.873 | | | | |
| | | 17.997 | 5 | 89.983 | 216.642 |
| 866 (4a berma) | 23.120 | | | | |
| | | 24.339 | 5 | 121.693 | 338.335 |
| 871 (5a berma) | 25.557 | | | | |
| | | 26.829 | 5 | 134.143 | 472.477 |
| 876 (cota final) | 28.100 | | | | |

Volume do relleno elevado (a cota 876m) es de **472.477m³**

Suficiente para lo volumen necesario, 436.828m³

COSTO DE ESTA ALTERNATIVA = U\$5,95 x 3.500 = U\$28.825,00

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 2:



¿Cuál es la mejor alternativa?

Alternativa 2: DE EXCAVACIÓN MÁS A ÁREA

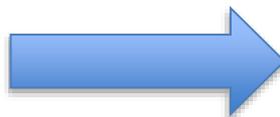
| | |
|--|-----------------------|
| Volumen necesario | 436.828m ³ |
| Volumen proyectado sem excavación | 338.335m ³ |
| Diferencia de volumen que se obtiene con la excavación | 98.493m ³ |

Suelo a ser utilizado en cobertura de residuos: 50.255m³

Solo excedente que se tomarán para otra area: $98.493 - 50.255 = 48.238\text{m}^3$

COSTO DE ALTERNATIVA 2 = U\$2,51 x 48.238 = U\$120.973,00

MEJOR ALTERNATIVA



ALTERNATIVA 1

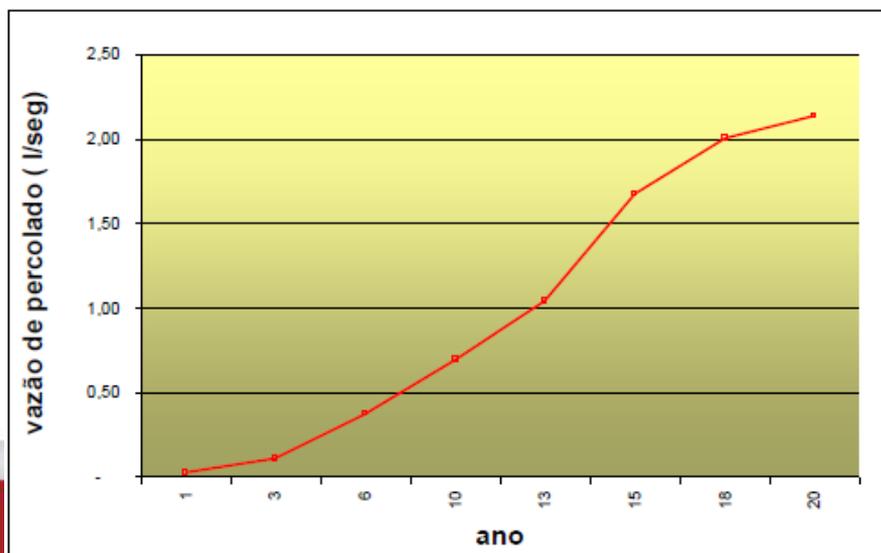
Ejercicio Práctico

PREGUNTA 3:



Generación de lixiviados del relleno sanitario

| cota | área (m2) | ano em que o aterro estará completo nessa cota (ANO) | calculo da vazão de percolado (l/seg) |
|------|--------------|--|---|
| 844 | 840 | 1 | 0,03 |
| 846 | 3.500 | 3 | 0,11 |
| 851 | 12.000 | 6 | 0,37 |
| 856 | 22.500 | 10 | 0,69 |
| 861 | 33.600 | 13 | 1,04 |
| 866 | 54.200 | 15 | 1,67 |
| 871 | 65.000 | 18 | 2,01 |
| 876 | 69.200 | 20 | 2,14 |



Ejercicio Práctico

PREGUNTA 4:



El volumen de grava 4 para ser utilizado en la ejecución de la capa integral de drenaje de base de relleno

$$V_{\text{grava}} = A_{\text{base}} \times 0,40\text{m} = 840\text{m}^2 \times 0,40\text{m} = 336\text{m}^3$$

Número de drenajes verticales que el vertedero tendrá su conformación definitiva

$$\text{Nº drenajes verticales} = \text{Area total de relleno (hectáreas)} \times 4 = 6,92 \times 4 = 27,6$$

28 unidades

Altura media del relleno (=Volumen total/area total)

$$\text{Espesor medio del relleno} = 472.477\text{m}^3 / 69.200\text{m}^2 = 6,83\text{m}$$

Longitud total drenajes verticales en el vertedero (=número de drenajes x altura media)

$$\text{Longitud de drenajes verticales} = 28 \text{ unid} \times 6,83\text{m} = 191,24\text{m}$$

Número de niveles de drenajes horizontales

$$\text{Número} = \text{altura media} / 5\text{m} = 6,83\text{m} / 5 = 1,36\text{m}$$

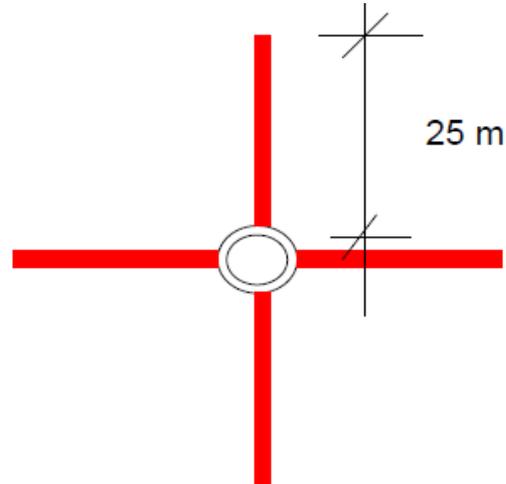
2 niveles

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 4:



Longitud total de drenajes horizontales en el relleno



Logitud de drenajes horizontales = 100m x 2 niveles x 28 drenajes = 5.600m

Volumen de grava 4 para ser utilizado en la ejecución de drenajes horizontales de lixiviados en relleno

Volumen de grava 4 = 5.600m x 1m³/m = 5.600m³

Ejercicio Práctico

PREGUNTA 5:



Cual la cantidad mensual necesaria de horas de tractor D6 durante el período de operación de relleno sanitario?

| ano | residuos domiciliars aterrados (t/ano) | numero de horas trabalhadas no dia (h/dia) |
|-----|--|---|
| 1 | 16.425 | 1,5 |
| 2 | 16.524 | 1,5 |
| 3 | 16.623 | 1,5 |
| 4 | 16.722 | 1,5 |
| 5 | 16.823 | 1,5 |
| 6 | 16.924 | 1,5 |
| 7 | 17.025 | 1,6 |
| 8 | 17.127 | 1,6 |
| 9 | 17.230 | 1,6 |
| 10 | 17.334 | 1,6 |
| 11 | 17.438 | 1,6 |
| 12 | 17.542 | 1,6 |
| 13 | 17.647 | 1,6 |
| 14 | 17.753 | 1,6 |
| 15 | 17.860 | 1,6 |
| 16 | 17.967 | 1,6 |
| 17 | 18.075 | 1,7 |
| 18 | 18.183 | 1,7 |
| 19 | 18.292 | 1,7 |
| 20 | 18.402 | 1,7 |

¿Cuál es la conclusión alcanzada en el uso de lo equipo?

**Generalmente, los contratos de arrendamiento de equipos son mensuales.
Equipo sub utilizado generando una creciente en los costos de operación.**



GRACIAS!!!

Eng^o Francisco Oliveira

franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br