

PROJETO DE ENCERRAMENTO DA CÉLULA DE RSU DO ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA

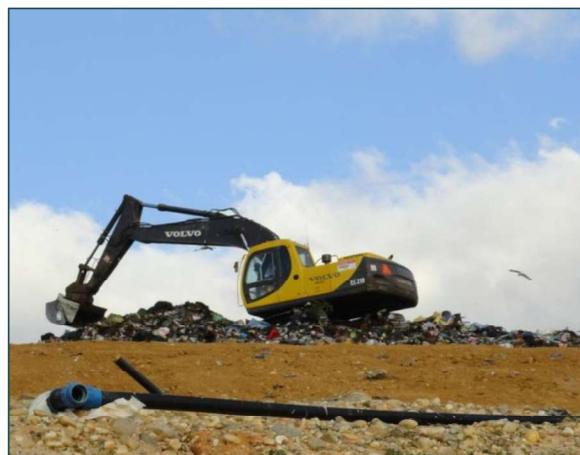
PEÇAS ESCRITAS E PEÇAS DESENHADAS

Cliente:



EMPRESA INTERMUNICIPAL PARA O
TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, EIM

Rua Dionísio Saraiva, 2-1º - Porta Nº5
2080 - 104 ALMEIRIM



Fase:

PROJETO DE EXECUÇÃO

Autor:



HIDROVIA, PROJECTOS DE ENGENHARIA CIVIL, SA

R. MARIA EMÍLIA R. S. CARVALHO, 10 R/C

ED. NICO, LOJA 2

2410-140 LEIRIA

Tel.: + 351 244 823 224 Fax : + 351 244 823 994

geral@hidrovia.pt

ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA

dezembro de 2018

PROJETO DE ENCERRAMENTO DA CÉLULA DE RSU DO ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA

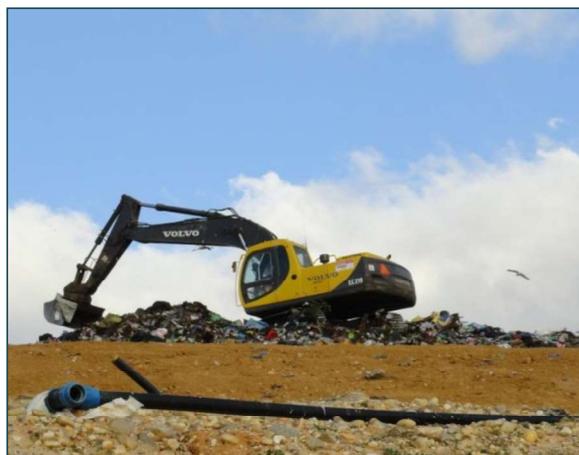
PEÇAS ESCRITAS

Cliente:



**EMPRESA INTERMUNICIPAL PARA O
TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, EIM**

Rua Dionísio Saraiva, 2-1º - Porta Nº5
2080 - 104 ALMEIRIM



Fase:

PROJETO DE EXECUÇÃO

Autor:



HIDROVIA, PROJECTOS DE ENGENHARIA CIVIL, SA

R. MARIA EMÍLIA R. S. CARVALHO, 10 R/C

ED. NICO, LOJA 2

2410-140 LEIRIA

Tel.: + 351 244 823 224 Fax : + 351 244 823 994

geral@hidrovia.pt

ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA

dezembro de 2018

PROJETO DE ENCERRAMENTO DA CÉLULA DE RSU DO ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA

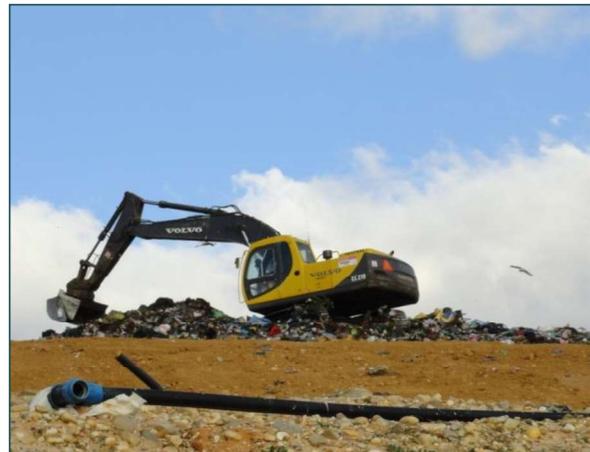
MEMÓRIA DESCRITIVA

Cliente:



**EMPRESA INTERMUNICIPAL PARA O
TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, EIM**

Estrada Nacional 114, Raposa
2080-701, Almeirim



Fase:

PROJETO DE EXECUÇÃO

Autor:



HIDROVIA, PROJECTOS DE ENGENHARIA CIVIL, SA
R. MARIA EMÍLIA R. S. CARVALHO, 10 R/C
ED. NICO, LOJA 2
2410-140 LEIRIA
Tel.: + 351 244 823 224 Fax : + 351 244 823 994
geral@hidrovia.pt

ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA

dezembro de 2018

**ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA
ALMEIRIM**

**PROJETO DE ENCERRAMENTO DA CÉLULA DE RSU
DO ATERRO SANITÁRIO DA RAPOSA**

PEÇAS ESCRITAS

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ÍNDICE

1.	ENQUADRAMENTO.....	3
2.	CARACTERIZAÇÃO DA ATERRO SANITÁRIO.....	4
3.	SELAGEM FINAL E INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA.....	5
3.1	Enquadramento legal.....	5
3.2	Esquema proposto.....	6
4.	TRABALHOS A DESENVOLVER NA EMPREITADA.....	7
4.1	Considerações gerais.....	7
4.2	Sistema de captação de biogás.....	8
4.3	Localização da CVE.....	9
4.4	Poços de extração.....	10
4.4.1	Considerações gerais.....	10
4.4.2	Poços verticais e drenos horizontais.....	11
4.5	Manutenção dos poços de extração de biogás.....	14
4.6	Bombas pneumáticas.....	15
4.6.1	Considerações gerais.....	15
4.6.2	Características da Bomba pneumática VP4 BL ou equivalente.....	16
4.6.3	Funcionamento da bomba pneumática:.....	17
4.6.4	Drenos horizontais.....	18
4.7	Extração de lixiviados em poços.....	20
4.8	Redes de transporte de biogás e lixiviados.....	24
4.8.1	Rede de interligação dos poços de extração à rede perimetral:.....	24
4.8.2	Rede de extração de lixiviados dos drenos horizontais:.....	24
4.8.3	Rede perimetral de transporte de biogás:.....	24
4.9	Produção e alimentação de ar comprimido.....	25
4.10	Drenagem de lixiviados.....	27
4.11	Prolongamento do muro de gabiões.....	29
4.12	Reinserção de lixiviados.....	35
4.13	Impermeabilização.....	36
4.14	Estabilização de taludes com Biomantas.....	37
4.15	Hidrosementeira.....	38
4.15.1	Considerações gerais.....	38
4.15.2	Preparação do solo.....	38
5.	MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL.....	39
6.	TRABALHOS A DESENVOLVER NA EMPREITADA.....	39
7.	CONCLUSÃO.....	40

1. ENQUADRAMENTO

A ECOLEZÍRIA — Empresa Intermunicipal para o Tratamento de Resíduos Sólidos, EIM, como o nome indica é uma empresa Intermunicipal de capitais maioritariamente públicos, responsável por projetar, implementar e gerir o sistema integrado de recolha, tratamento e valorização dos resíduos sólidos urbanos da área territorial dos Municípios Associados da RESIURB (*Municípios de Alpiarça, Almeirim, Cartaxo, Coruche, Salvaterra de Magos e Benavente*).

O aterro sanitário encontra-se em funcionamento desde de junho de 2000 e está licenciado com as seguintes autorizações:

- ✓ Licença para a realização de operações de gestão de resíduos nº00033/2011 da CCDRLVT;
- ✓ Licença de Exploração para o aterro n.º 02/2009, em relação à exploração de resíduos sólidos urbanos não perigosos;
- ✓ Licença para Operação de Gestão de Resíduos n.º 56/2009, no que respeita ao armazenamento temporário para operação de eliminação/valorização de resíduos;
- ✓ Licença Ambiental nº83/2008 emitida pela Agência Portuguesa do Ambiente, que prevê para o aterro sanitário em estudo um volume de encaixe de 781 939 m³.

No ano de 2015, a empresa optou por mudar a sua estratégia relativamente ao tratamento de resíduos sólidos urbanos, que deixaram de ser depositados em aterro, e passaram a ser encaminhados para uma entidade exterior contratada para o efeito.

O objeto da presente memória consiste no projeto de execução da selagem da célula do aterro sanitário de Raposa, observando o disposto no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto e da Licença Ambiental n.º 83/2008 para o exercício da atividade de deposição de resíduos em aterro (LODRA).

No entanto no desenvolvimento do projeto de execução existiu a preocupação de cumprir rigorosamente a legislação ambiental em vigor, de forma a impedir quaisquer impactos negativos na envolvente das infraestruturas da empresa ou decorrentes da sua atividade.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ATERRO SANITÁRIO

A célula do aterro sanitário apresenta um perímetro da ordem dos 820 m e dispõe de uma área de cerca de 4.30 Ha, desenvolve abaixo e acima da via de acesso, sendo constituída na zona mais desfavorável por 4 patamares acima. As inclinações, alturas de taludes, larguras das banquetas e cotas da plataforma superior constam do último levantamento topográfico em CAD, datado de 27 de novembro de 2017.

Com base nos diversos levantamentos topográficos realizados foi possível quantificar os resíduos depositados na célula do aterro sanitário da Raposa. Tal como já se referiu o aterro sanitário, foi explorado entre 2000 e 2017, tendo sido depositados um total de 706 530 m³ de resíduos, com a distribuição constante na tabela seguinte:

	Volume (m ³)				
	RESIDUOS	ACUM.	TERRA	ACUM.	TOTAL ACUM.
ANO 1	87767 m ³	87767 m ³			87767 m ³
ANO 2	64577 m ³	152344 m ³			152344 m ³
ANO 3	49743 m ³	202087 m ³			202087 m ³
ANO 4	51008 m ³	253095 m ³			253095 m ³
ANO 5	49923 m ³	303019 m ³			303019 m ³
ANO 5 (JULHO 06)	27767 m ³	330785 m ³			330785 m ³
ANO 5 (DEZEMBRO 06)	35925 m ³	366710 m ³			366710 m ³
ANO 6 (DEZEMBRO 07)	51649 m ³	418359 m ³			418359 m ³
ANO 7 (DEZEMBRO 08)	60477 m ³	478836 m ³			478836 m ³
ANO 8 (DEZEMBRO 09)	42149 m ³	520985 m ³			520985 m ³
ANO 9 (DEZEMBRO 10)	46196 m ³	567180 m ³			567180 m ³
ANO 10 (DEZEMBRO 11)	41357 m ³	608537 m ³	9923 m ³	9923 m ³	618460 m ³
ANO 11 (JUNHO 12)	18951 m ³	627488 m ³		9923 m ³	637411 m ³
ANO 11 (DEZEMBRO 12)	27430 m ³	654918 m ³		9923 m ³	664841 m ³
ANO 12 (DEZEMBRO 13)	24637 m ³	679555 m ³	-9923 m ³		679555 m ³
ANO 13 (JANEIRO 2015)	24039 m ³	703594 m ³			703594 m ³
ANO 14 (DEZEMBRO 2015)	2936 m ³	706530 m ³			706530 m ³
ANO 15 (DEZEMBRO 2016)	-17256 m ³	689274 m ³			689274 m ³
ANO 16 (NOVEMBRO 2017)	-1154 m ³	688121 m ³			688121 m ³
TOTAL	688121 m³				688121 m³

Nota: No volume acumulado de resíduos está incluído o volume de terras de cobertura depositadas na célula.

De acordo com a tabela apresentada verifica-se um decréscimo no volume global de resíduos em aterro, esta diferença está diretamente relacionada com os assentamentos da decomposição dos resíduos e da exploração de biogás, essencialmente na parte superior do aterro, que em determinadas áreas tem assentamentos que atingem os 2 metros de altura.

De acordo com o já mencionado anteriormente, não se pretende continuar com a deposição de resíduos em do aterro, assim importa iniciar os procedimentos necessários para a instrução do processo de Encerramento do aterro Sanitário.

Assim, o projeto que se apresenta propõe as acções a desenvolver para o encerramento, controlo e manutenção pós-encerramento, por forma a reduzir os riscos ambientais, nomeadamente:

- a) Prevenir a infiltração de águas pluviais até o interior do aterro;
- b) Promover a drenagem das águas superficiais até um corpo receptor externo ao aterro;
- c) Prevenir a erosão da cobertura final;
- d) Prevenir a fuga descontrolada de biogás;
- e) Manter a drenagem, recolhimento e tratamento das águas lixivantes.

As atividades do encerramento do aterro sanitário foram planeadas de forma a garantir:

- a) a minimização das necessidades de manutenção adicionais;
- b) a instrumentalização do aterro de modo a amortizar, a longo prazo, os impactos ambientais, como se verá mais adiante.

Os objetivos deste projeto são assim, o planeamento da impermeabilização, a minimização dos impactes no ambiente, mas também a integração paisagística da célula no meio envolvente.

3. SELAGEM FINAL E INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA

3.1 Enquadramento legal

A selagem final e integração paisagística terá que obedecer ao disposto no Decreto de Lei nº183/2009 de 10 de agosto, nomeadamente ao constante na Tabela nº1 do Anexo I.

Assim, o esquema de selagem deverá possuir a seguinte estrutura (Tabela nº1 DL183/2009):

- ✓ Camada de drenagem de gases (depende do tipo de resíduos depositados);
- ✓ Barreira de impermeabilização artificial (só é obrigatória em aterro de resíduos perigosos);
- ✓ Camada mineral impermeável (por exemplo de argila ou bentonite), para evitar a infiltração das águas pluviais incidentes;

- ✓ Camada drenante com >0.50 m;
- ✓ Cobertura final com material terroso >1.00 m;

3.2 Esquema proposto

Deste modo propõe-se que a selagem final e integração paisagística tenha a estrutura seguinte de baixo para cima:

1. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) depositados.
2. Camada de solos de regularização com 0.20m de espessura, sobre os resíduos de forma a definir as pendentes e cotas finais da cobertura (altura variável depende das cotas da cobertura provisória já existente);
3. Geotêxtil de 300 g/m².
4. Camada mineral de brita isenta de calcário (por exemplo seixo rolado) com 0.20m de espessura para drenagem do biogás aplicada em banquetas e cúpula.
5. Geotêxtil de 300 g/m²;
6. Colocação de camada mineral impermeável com $K > 1 \times 10^{-9}$ m/s;
7. Geotêxtil de 300 g/m²;
8. Colocação de uma barreira de impermeabilização constituída por uma geomembrana lisa em ambas as faces de 1.5 mm de espessura na cúpula. Para os taludes, banquetas e acessos será aplicada uma geomembrana rugosa em ambas as faces de 1.5 mm de espessura;
9. Colocação de geocomposto drenante (com geotêxteis em ambas as faces), para drenagem do subsolo na cúpula, taludes, rampa de acesso e nas banquetas do aterro;
10. Colocação em taludes e banquetas de uma geogrelha de estabilização com uma resistência 80KN/m ancorada por valas de amarração;
11. Colocação de uma camada de brita com espessura 0,50 m, para drenagem rampa de acesso e banquetas do aterro envolvida em geotêxtil de 300 g/m².
12. Execução de trincheiras drenantes (com uma secção de 1.0 x1.0 m), na cúpula e taludes, para encaminhamento das águas pluviais para a valeta periférica;
13. Colocação de uma camada de terra de reserva, com espessura de 0,70 m;
14. Colocação de uma camada de terra vegetal com 0.30 m de espessura;

15. Colocação em taludes de biomanta antierosiva, retentora de sedimentos para fixação hidrossementeira tipo “Biomanta Fibrax 3000 BF” ou equivalente;
16. Plantação com prado de sequeiro por hidrossementeira de uma mistura de gramíneas e leguminosas, por exemplo com Lolium Perenne; Dactylis glomerata, Cynodon dactylon, Festuca arundinacea, Lolium multiflorum, Trifolium repens, Trifolium pratense.

4. TRABALHOS A DESENVOLVER NA EMPREITADA

4.1 Considerações gerais

Os trabalhos globais a desenvolver serão os necessários ao cumprimento dos requisitos aplicáveis nos termos da legislação e das licenças em vigor, designadamente as seguintes tarefas de acordo com as peças desenhadas do projeto de execução:

- a. Modelação/movimentação de resíduos e terras onde necessário, procurando-se minimizar ao máximo a remoção de resíduos para evitar odores;
- b. Remoção/reperfilamento de taludes e banquetas onde existam resíduos e/ou terras em excesso, designadamente sobre a valeta periférica da célula para permitir a soldadura de arranque da geomembrana da selagem, execução de um dreno perimetral interno de escoamento de lixiviados e reposição da funcionalidade da valeta pluvial periférica;
- c. Execução de valas de ancoragem para os geossintéticos;
- d. Fornecimento e aplicação de terras adequadas em taludes, banquetas e plataformas, isentas de pedras e materiais pontiagudos, para receção dos geossintéticos do complexo de impermeabilização final;
- e. Manutenção e melhoramento do sistema de desgaseificação/descompressão para biogás sob a geomembrana, constituído por poços de captação existentes;
- f. Execução de poço e valas de reinjeção de lixiviados na massa de resíduos (plataforma superior) e respetiva rede superficial de alimentação, para humidificação e indução da degradação dos resíduos, potenciando a produção de biogás;
- g. Fornecimento e aplicação de barreira de impermeabilização com geossintéticos de acordo com a estratigrafia proposta – na plataforma superior, nas banquetas e nos

taludes, observando as especificações técnicas dos materiais, aplicação e os pormenores construtivos;

- h. Adaptação da rede de drenagem de biogás superficial, onde necessário, no sentido de garantir o seu contínuo funcionamento e fornecimento de biogás ao motogerador, sem perturbações, durante o processo de selagem (**Nota: A definir com os técnicos da empresa de exploração**);
- i. Ampliação de rede de drenagem de lixiviados;
- j. Reposição da rede de drenagem pluvial perimetral em funcionamento;
- k. Execução da rede de drenagem final de águas pluviais;
- l. Fornecimento e aplicação das camadas de solos de cobertura sobre os geossintéticos, incluindo a colocação de geotêxtil de proteção sobre a geomembrana – na plataforma superior, nas banquetas e nos taludes de acordo com a solução proposta;
- m. Realização de hidrossementeira de acordo com o projeto;
- n. Colocação de marcas superficiais para controlo dos assentamentos;
- o. Limpezas gerais.

4.2 Sistema de captação de biogás

Este capítulo tem como finalidade a especificação das condições técnicas de reabilitação, manutenção construção e de segurança da rede de captação e transporte de biogás, cujo objetivo será, proceder ao encerramento do aterro e definir as condições da rede de Biogás de forma a ser compatível com o funcionamento da Central de Valorização Energética do Biogás do Aterro Sanitário.

Dadas estas considerações terá que se setorizar e deslocar provisoriamente partes da rede de recolha de biogás e de lixiviados para proceder à execução do sistema de encerramento do aterro.

O atual coletor perimetral da rede de recolha de biogás em funcionamento já possui válvulas de seccionamento para esse efeito, o que será uma mais valia para a realização dos trabalhos de selagem do aterro sanitário.

Relativamente à rede de extração e recolha de lixiviados dos poços de biogás esta será temporariamente desativada e de modo faseado.



Foto 1 – Válvulas de secionamento do coletor periférico de biogás

4.3 Localização da CVE

A Central de Valorização Energética do Biogás do Aterro Sanitário da Ecoleziria, está instalada na zona Norte do Aterro Sanitário, do lado esquerdo da entrada.



Foto 2 - Central de Valorização Energética do Aterro Sanitário da Ecoleziria

4.4 Poços de extração

4.4.1 Considerações gerais

A captação de gás começa nos poços de extração, onde o biogás é extraído da massa de resíduos e entra no sistema de captação e controle de biogás extraído do aterro.

Os poços de extração de biogás existentes são tipicamente compostos por tubos de PEAD com ranhuras, rodeados por brita ou outro material agregado, que estão instalados em perfurações verticais. No aterro da raposa existem também drenos horizontais na massa de resíduos com o objetivo de aumentar a recolha de biogás.

Na parte superior da massa de resíduos do aterro, os poços de extração têm cabeças que permitem o ajuste do vácuo e a amostragem do biogás.

Chama-se a atenção que, por se tratar de uma exploração faseada, existem várias tipologias de encabeçamento dos poços de biogás. A principal razão de isto acontecer deve a intervenções de duas empresas distintas de exploração do biogás nomeadamente a Envirogás e PA Residel.

Recentemente a PA Residel realizou mais uma campanha de 14 poços verticais em que encabeçamento já foi de tipologia flangeada DN250 com derivação flangeada DN63.



Foto 3 – Exemplos de poços de biogás do aterro sanitário de Ecoleziria

4.4.2 Poços verticais e drenos horizontais

A drenagem dos gases do aterro tem vindo a ser efetuada através dos poços verticais e drenos horizontais executados na massa de resíduos. A sua construção foi gradual e acompanhou a deposição de resíduos em aterro.



Foto 4 - Exemplo de poço de extração vertical

O espaçamento e localização dos poços verticais e drenos horizontais encontra-se atualmente a cargo da empresa **PA Residel** que têm a função de realizar a captação e exploração do biogás do aterro sanitário.

Encontram executados 87 poços verticais e 16 drenos horizontais perfazendo um total de 103 pontos de extração de biogás.

Todos os poços e drenos horizontais necessitam de ser prolongados para poderem atravessar o sistema de encerramento. Quanto ao seu prolongamento este depende da sua localização, mas poderá considerar-se de um modo geral para verticais 2.0 m e 5.0 m para horizontais.

Os poços verticais instalados na maioria são constituídos pelos seguintes componentes:

- Perfuração com trado de diâmetro exterior $\geq \varnothing 450\text{mm}$ e profundidades variadas;
- Tubagem ranhurada em PEAD DN ≥ 160 com o último troço cego;
- Brita calibrada entre tubagem e massa de resíduos;
- Tampão de bentonite de selagem do poço;
- Cabeças em PEAD com tubagem DN $\geq 225\text{mm}$ e rede de drenos em PEAD, a ligar a coletor perimetral PEAD DN200mm;
- Válvulas de regulação e secionamento junto á ligação ao coletor perimetral;
- Tomadas de amostragem a montante das válvulas regulação;
- Bomba de extração de lixiviados (se aplicável);

- Coletor de recolha de lixiviados (se aplicável).

Os drenos horizontais de extração de biogás existentes foram executados do seguinte modo;

- Abertura de valas na massa de resíduos aquando a sua deposição com uma largura de 0.60 m aproximadamente e pendente para o exterior;
- Colocação de cama de brita calibrada com 20cm de espessura, na envolvente da tubagem ranhurada de 160mm;



Foto 5 – Dreno horizontal de extração de biogás

4.5 Manutenção dos poços de extração de biogás

Durante a exploração, é efetuada manutenção aos poços de biogás de forma a garantir que não exista excesso de lixiviado no seu interior (nunca superior a 1,0 m da base do poço) e que as cabeças e respetivas ligações não se encontrem em demasiado esforço (devido aos assentamentos da massa de resíduos), que podem provocar roturas nas ligações. As tubagens de interligação dos poços com a rede perimetral são revistas regularmente a fim de corrigir a pendente, de forma a facilitar o encaminhamento dos condensados formados. Estes trabalhos são da responsabilidade de empresa responsável pela exploração do biogás.



Foto 6 – Sistemas de bombagem de lixiviados de poços verticais existentes

No presente projeto prevê-se a substituição de todos sistemas de bombagem de lixiviados existentes dos pontos de captação de biogás, uma vez que estes apresentam alguns riscos elétricos para a segurança dos operadores, por se tratarem de sistemas rudimentares. Ao nível de funcionamento, os sistemas existentes requerem ainda muita manutenção pelo facto de desferrarem facilmente e o seu acionamento de arranque e paragem é manual ou com temporizadores. O que realmente acaba por acontecer é que as bombas trabalham algumas vezes sem necessidade e outras vezes deviam estar em funcionamento e estão paradas.

A forma com se encontram instalados os equipamentos e o meio ambiente envolvente a que este sistema bombagem se encontra sujeito não é o mais adequado, conduzindo a uma série de riscos de natureza elétrica.

Outro fundamento, é estarmos perante um meio de Atmosferas Explosivas (ATEX), onde o biogás em conjunto outro elemento (eletricidade) poderá gerar a ignição e a combustão se propague à massa de resíduos.

4.6 Bombas pneumáticas

4.6.1 Considerações gerais

A solução proposta passa pela implementação de equipamento de bombagem pneumático com características ATEX de forma evitar a deflagração e a propagação de eventuais explosões.

As bombas pneumáticas automáticas (Viridian Systems ou equivalente) são especialmente feitas para extrair lixiviados em aterros sanitários em poços verticais. A bomba pneumática é equipada de uma boia interna que permite a abertura e fecho das válvulas de admissão e de escape de ar.

Elas funcionam com ar comprimido até 13 bares, e o seu modo de funcionamento é automático, ou seja, quando aparece lixiviado acima de um determinado nível no poço de biogás a bomba entra em funcionamento e o lixiviado é extraído. Ao baixar o lixiviado no poço de biogás abaixo do nível de referência a bomba irá parar sem necessidade de comandos externos mantendo assim um nível mínimo de lixiviado no poço.

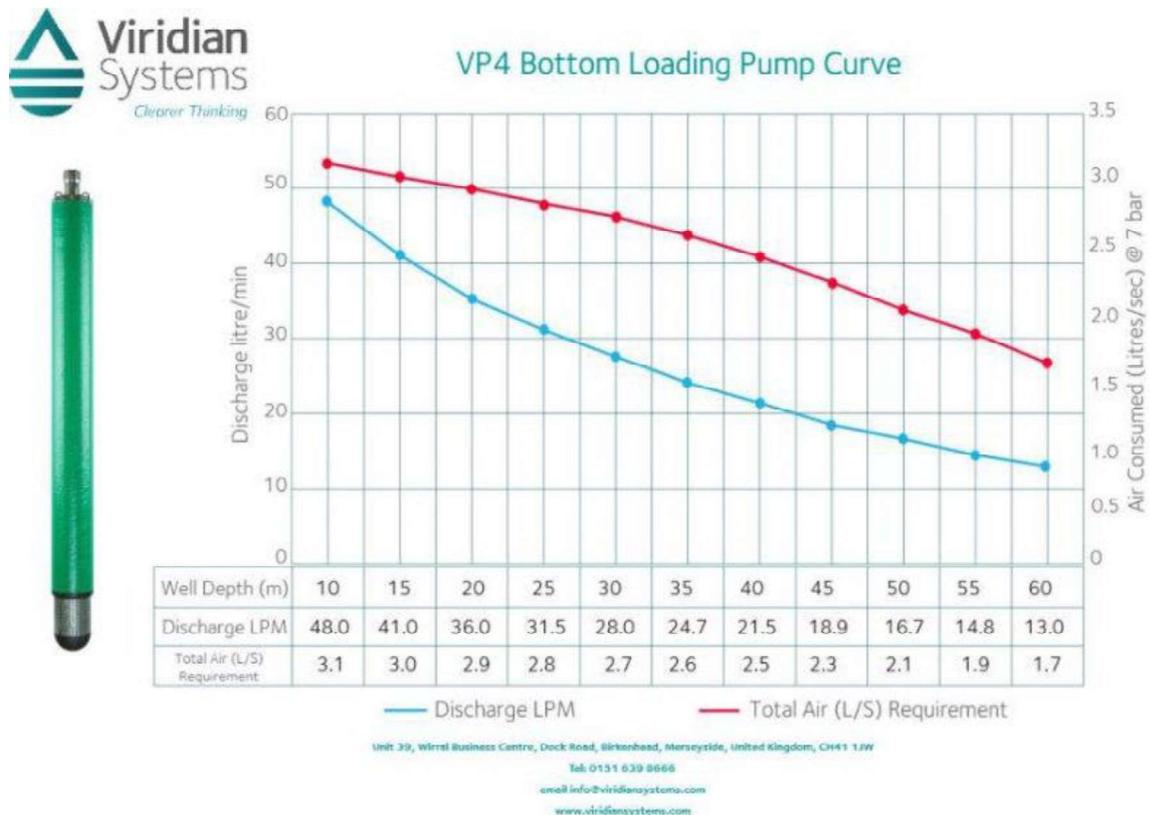


Foto 7 - Bomba pneumática automática VP4-B da Viridian Systems

Não é necessário ter um controlador com temporizador à superfície, nem qualquer sensor no interior do poço, basta apenas um filtro com regulador de pressão.

4.6.2 Características da Bomba pneumática VP4 BL ou equivalente

As bombas pneumáticas VP4 BL ou equivalentes deverão ser fabricadas em aço inoxidável AISI316/PTFE e ser pneumáticas de funcionamento automático com certificação ATEX II (2G cT1 Ta=-20° à +60° segunda diretiva 94/9/EC – anexo VIII).

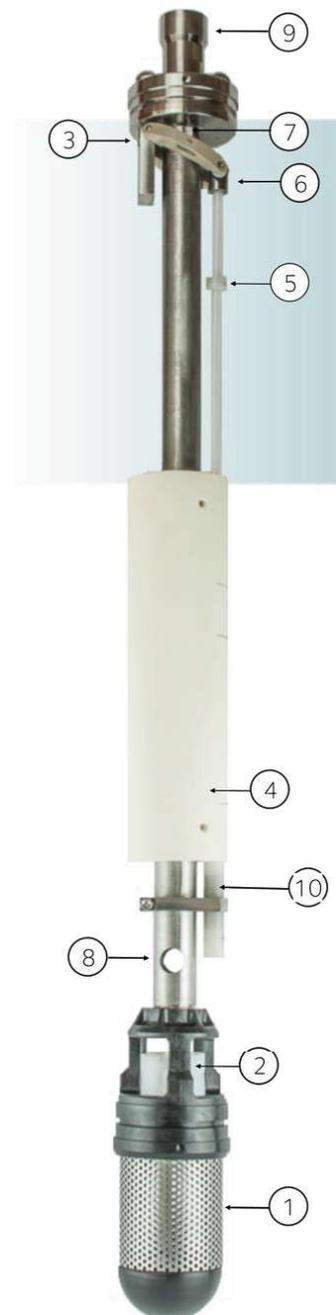


Largura da bomba	1005 mm
Posição de aspiração	Inferior
Caudal max.	> 2880 l/h
Volume por ciclo	1 litres
Peso	7,5 Kg
Altura de ativação	770 mm
pH	1 - 12
Temperatura max. d'utilização	100°C
Diâmetro exterior da bomba	90 mm
Diâmetro mínimo do poço	100 mm
Profundidade max. d'instalação	130 m

4.6.3 Funcionamento da bomba pneumática:

O modo de funcionamento da bomba é feito por 2 ciclos: o ciclo onde o líquido entra na bomba e o outro quando o líquido descarregado. A bomba possui um mecanismo de balancetes ligado a uma guia interna que vai seguir o nível do líquido. Abaixo apresenta-se um esquema da bomba:

- O líquido entra na bomba através do filtro (1) e da válvula de retenção de entrada (2)
- Ar preso dentro da bomba escapa através do escape de ar (3)
- O flutuador (4) sobe quando o líquido entra e quando chega ao topo de seu curso
- (5), desarma o mecanismo rocker (6)
- A válvula de escape (3) fecha
- A válvula de entrada de ar (7) abre permitindo que o ar comprimido entre na bomba.
- Ar comprimido fecha a válvula de retenção inferior (2)
- Líquido dentro da bomba é descarregado da bomba através do orifício de descarga
- (8) e acima do tubo de descarga central
- O líquido passa pela válvula de retenção superior (fechada na cabeça) e passa pelo riser (9)
- O flutuador desce quando o líquido é descarregado
- O flutuador puxa o mecanismo do balancim de volta quando a mola (10) é comprimida.
- A entrada de ar fecha, o escape de ar é aberto
- O ar comprimido preso dentro da bomba pode agora escapar para a atmosfera via
- a válvula de escape (3)
- A bomba continua a funcionar deste modo.



4.6.4 Drenos horizontais

A extração de lixiviado dos drenos horizontais de captação de biogás é feita de forma gravítica, no entanto com a degradação dos resíduos vão ocorrendo assentamentos, passando o dreno a ter uma inclinação negativa originando a acumulação de lixiviado no seu interior.

Para proceder à sua extração podemos também utilizar uma variante das bombas pneumáticas anteriormente apresentadas designada de VPSR, mas onde será necessário acrescentar um controlador desenvolvido para este propósito.

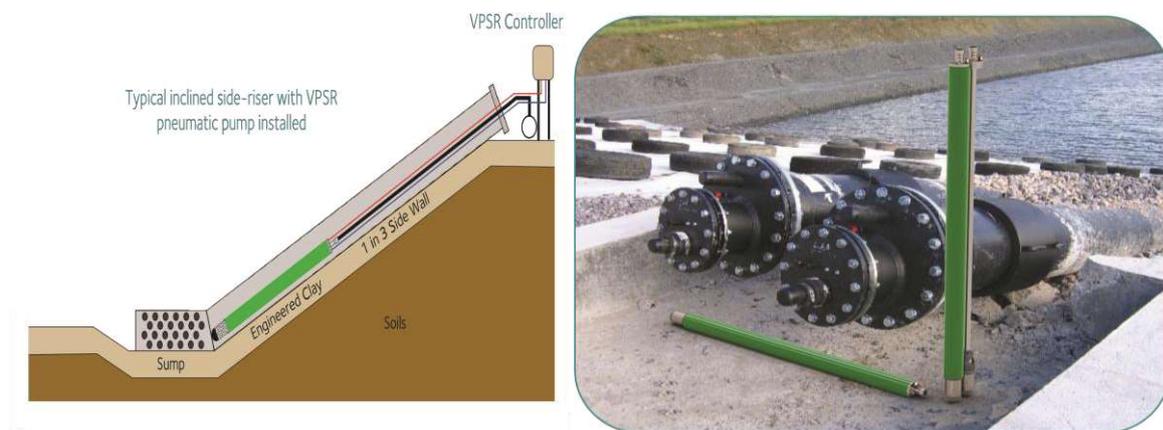


Foto 8 – Sistema de bombagem VPSR

Embora a bomba do tipo VPSR funcione na posição vertical, ela é projetada para trabalhar em drenos horizontais geralmente com inclinação negativa. O sistema VPSR é composto por uma bomba, válvula de escape e painel controle.

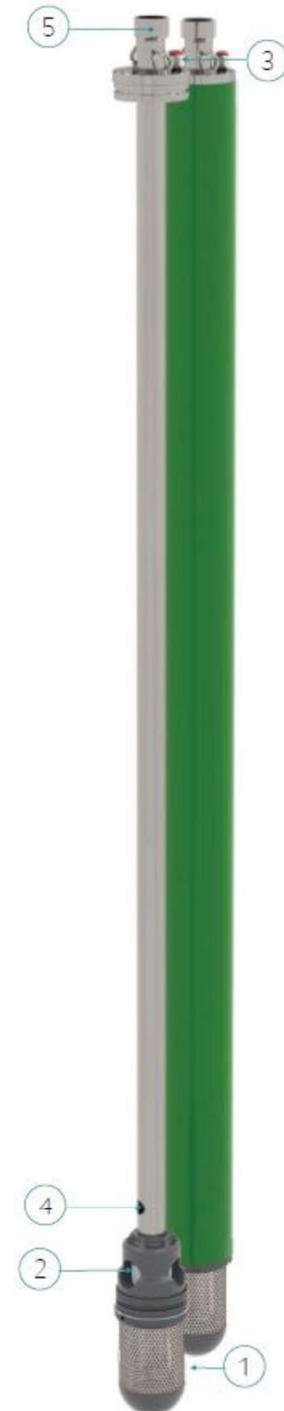
A bomba enche na extremidade inferior e descarrega na extremidade superior da bomba. Há uma válvula de retenção de entrada e uma válvula de retenção de descarga. Não há controles internos dentro da bomba.

A válvula de escape deve ser posicionada a uma curta distância da bomba no poço de tal forma que não fique submersa durante o funcionamento normal.

O painel de controle está localizado fora do poço ao nível do solo e fornece intervalos programados configuráveis pelo operador para o modo de operação.

O modo de funcionamento da bomba VPSR ou equivalente deverá ser o seguinte:

- O líquido entra na bomba através do filtro (1) e da válvula de retenção inferior (2)
- Ar preso dentro da bomba escapa através da entrada de ar / porta de escape (3)
- O líquido dentro da bomba é descarregado através da porta de descarga (4) e até o tubo de descarga central.
- O líquido é deslocado por ar comprimido que entra na bomba através do ar entrada / escape porta (3)
- O líquido passa pela válvula de retenção superior (fechada na cabeça) e o riser (5)
- O ar comprimido preso dentro da bomba pode agora escapar para a atmosfera através do escape de ar (não mostrado)
- O painel de controle incorpora temporizadores que podem ser ajustados para o local condições específicas. As funções do temporizador são temporizadas: Exaustão / Preenchimento e atraso cronometrado: descarga
- O painel de controle também incorpora um regulador de pressão que deve ser ajustado de acordo com a cabeça vertical e também para levar em conta a fricção perdas na canalização.



4.7 Extração de lixiviados em poços

Neste projeto de execução contemplou-se a instalação de um total de 12 grupos de bombagem pneumática dos quais 6 são para instalar em poços verticais e os restantes em drenos horizontais.

Será de realçar que estes sistemas são portáteis e a sua localização poderá ser ajustada em função dos requisitos de extração de lixiviado para captação e exploração do biogás.



Foto 9 – Poço de captação de biogás sem sistema de extração de lixiviados

Atualmente no mercado os fornecedores deste tipo equipamento, já possuem uma gama de acessórios, para uma fácil instalação das bombas pneumáticas.

Ou seja, têm kit's de instalação que incluem todos os acessórios necessários para uma operação segura e eficiente de instalação, remoção e amostragem.

Neste seguimento, todos os poços verticais onde seja necessário realizar a extração de lixiviado como o exemplo da



Foto 9 o esquema de princípio de montagem será o que se apresenta na Figura 1 baixo.



Figura 1 . Kit's de Instalação

Abaixo apresenta-se uma lista de kit's e acessórios a ser fornecidos para o encabeçamento de poços de captação de biogás com sistema de bombagem pneumático.

	<p>Kit de fornecimento de ar</p> <p>O kit inclui 1/2 "válvula de isolamento, contador de pulsos Viridian, filtro / regulador de ar e mangueira com as conexões apropriadas para conectar a linha de fornecimento de ar comprimido à bomba. O tipo de conexão pode ser projetado para coincidir com os acessórios existentes no local e também para fornecer fácil instalação e manutenção da bomba.</p>
	<p>Kit de coletores de Descarga Líquida</p> <p>Um kit de tubulação de descarga de líquido pode ser projetado para atender às necessidades do local. Os kits típicos incluem válvulas de isolamento, válvulas de retenção, portas de amostra e medidores de pressão. Os kits podem ser projetados para distribuir várias bombas juntas em um local, ou usadas separadamente para conectar-se a uma unidade de força comum.</p>
	<p>Pacote de coletores</p> <p>O conjunto de tubos padrão vem equipado com mangueira de descarga de 1", 1/2" de suprimento de ar e tubo de exaustão de 5/8", tudo envolto em uma única camisa de polietileno. A mangueira de náilon é projetada para suportar o ambiente severo e corrosivo do lixiviado sendo bombeado.</p>
	<p>Contador de pulsos</p> <p>O contador acionado magneticamente é acionado a cada curso de um pistão de retorno por mola que abriga um ímã. O pistão é acionado pelo ar durante o ciclo de bombeamento.</p>



Regulador de Ar / Filtro

Um regulador de filtro ajustável manualmente garante que um suprimento de ar limpo na pressão apropriada seja fornecido à bomba para operação adequada. A pressão pode ser ajustada de 10 a 160 psi. A construção não metálica impede a oxidação do filtro / regulador.



Cabo de suporte

Cabo de suporte de aço inoxidável e braçadeiras podem ser fornecidos para garantir que a bomba esteja devidamente apoiada quando ela estiver pendurada no seu poço.



Conectores I-Fit

Os conectores I-Fit da Viridian fornecem uma maneira fácil e segura de conectar e desconectar a tubulação da bomba sem precisar cortar os tubos.



Tampa de Poço Flangeada de 4", 6", 8" e 10"

Cobertura de poço flangeado projetada para encaixar em um poço de diâmetro de 6 "ou 8". A tampa vem equipada com portas para fornecimento de ar, exaustão, amostragem e tubulação de descarga. Uma porta de diâmetro opcional de 2 "ou 3" está disponível para uso com um sistema de extração a vácuo.



Vedação de 4", 6", 8" e 10" Slip-on Well

Cobertura flexível bem projetada para encaixar mais de 6 "ou 8" diâmetro bem. A tampa vem equipada com portas para fornecimento de ar, exaustão, amostragem e tubulação de descarga. Uma porta de diâmetro opcional de 2 "ou 3" está disponível para uso com um sistema de extração a vácuo.

4.8 Redes de transporte de biogás e lixiviados

4.8.1 Rede de interligação dos poços de extração à rede perimetral:

A tubagem de interligação dos poços à rede perimetral é em PEAD PN10, têm uma gama de diâmetros que vai desde o DN63 ao DN90 já se encontra construída e em funcionamento. Assim, como os trabalhos de encerramento deverão ser contabilizados todos os trabalhos de remoção, armazenamento e posterior reutilização para redução de custos.

Com a construção do sistema de selagem do aterro todas as tubagens terão de ser deslocadas para a superfície, através do prolongamento de todas as tubagem dos poços e drenos de captação de biogás. Os trabalhos deverão ser realizados de forma faseada, por setores e de forma a corresponder às condições técnicas para o transporte do biogás segundo os caudais e pressões já predefinidos, bem como corresponder às exigências mecânicas a que as tubagens ficarão sujeitas.

O empreiteiro terá que se inteirar muito bem dos trabalhos no terreno, atendendo a que estes sistemas são muito versáteis.

4.8.2 Rede de extração de lixiviados dos drenos horizontais:

A tubagem de extração de biogás nos drenos de extração horizontais quer sejam gravíticos ou por bombagem deverão ser em PEAD Ø63 que por sua vez deverão ligar a um coletor principal de recolha em PEAD DN110 que reunirá numa caixa de visita para encaminhamento de forma gravítica até à saída para a rede de lixiviados do aterro.

À saída de cada dreno horizontal gravítico existirá um conjunto de sifões que garantirão que não haverá entrada de oxigénio na rede de biogás.

4.8.3 Rede perimetral de transporte de biogás:

A tubagem perimetral da rede de transporte de biogás existente é em PEAD DN200 PN10, isto para corresponder às condições técnicas para o transporte do biogás segundo os caudais e pressões predefinidos, bem como corresponder às exigências mecânicas a que a tubagem se encontra sujeita.

A mesma encontra-se implantada no exterior da célula do aterro de forma a não condicionar os trabalhos necessários para encerramento do aterro bem como a exploração do biogás, garantindo as condições de segurança e operação necessárias no transporte do Biogás até à Central, bem como as ligações futuras dos poços a executar.

A tubagem perimetral está instalada com pendente para que os condensados criados na tubagem sejam encaminhados para o ponto mais baixo, e posteriormente conduzidos para um poço de condensados e respetiva ligação à rede de lixiviados do aterro.

Existem atualmente instalados dois poços de condensados, um no ponto mais baixo do coletor perimetral localizado a sul do aterro sanitário na berma da via de acesso, e outro imediatamente antes da central de valorização de biogás.

Ambos os poços de condensados têm incorporado um sistema de bombagem automático que garante a extração dos condensados que ali são depositados e o seu encaminhamento para a rede de lixiviados do aterro.



Foto 10 – Poços de condensados

4.9 Produção e alimentação de ar comprimido

As bombas pneumáticas de extração de lixiviados dos poços de captação de biogás, para poderem operar necessitam de ar comprimido. Neste sentido será necessário instalar uma unidade de produção ar comprimido e uma rede de distribuição para alimentação do equipamento.

A produção e armazenamento de ar comprimido será feita através de um compressor de parafuso montado numa central de produção totalmente automática “tudo incluído”, ou seja que possui todos os sistemas de produção, tratamento e armazenamento.

A solução proposta é central de ar comprimido completa tipo “KAESER Aircenter SXC 3 para uma pressão de serviço de 10 bars” ou equivalente, que dará resposta às condições técnicas, aos caudais e pressões requeridas pelas bombas pneumáticas, obtendo-se uma boa relação investimento/fiabilidade de operação dando garantias de bom funcionamento ao Dono de Obra.

A central de ar comprimido “Aircenter SXC 3 ou equivalente” é constituída por um compressor de parafuso, secador por refrigeração e o reservatório de ar comprimido, revestidos por uma cobertura em PE de parede dupla formando uma unidade pronta a utilizar.

A tabela seguinte apresenta as características técnicas mínimas.

Compressor de parafuso			
Nº de unidades	1		
Tipo.....	Compressor de parafuso		
Modelo	KAESER	AIRCENTER	SXC3
equivalente			
Capacidade deposito.....	215 l		
Potencia.....	2,2 kw		
Caudal do sistema	260 l/min		
Pressão	10 bar		
Voltagem	400 V		
Peso.....	285 kg		



Figura 2 - Compressor de parafuso com depósito incorporado

A rede de ar comprimido será ramificada e executada com tubo flexível em PVC aditivado com elastómero e reforçado com fio de poliéster tipo “Helivil ar 20 premium da Heliflex ou equivalente” com 25 mm de secção interna e protegido por uma manga de PEAD DN63 PN10 que será instalado à superfície do aterro para uma melhor manutenção da rede. Os nós de derivação da rede serão acomodados em caixas de visita munidas de válvulas de seccionamento.



Foto 11 - Tubo flexível em PVC Helivil ar 20 premium da Heliflex

No atravessamento da via de acesso será instalada em vala com 0,80 metros de profundidade, assentes sobre uma camada de areia com 0,10m de espessura e cobertos com outra camada de 0,10m. Por cima desta última, para proteção e aviso, será aplicada uma rede e fita plástica. Não poderão ser, executadas curvas com raio de curvatura inferior a 15 x o diâmetro do tubo.

4.10 Drenagem de lixiviados

A drenagem dos lixiviados do aterro é realizada atualmente de duas formas:

- Camada drenante do fundo dos alvéolos da célula, com drenos perfurados e poços de recolha;
- Dreno periférico em parte significativa do aterro (tardoz do muro de gabião);

Com o passar dos tempos estes sistemas de drenagem encontram-se colmatados pelo que se propõe para a remoção de lixiviados na base dos taludes na periferia da célula do aterro a construção de dreno periférico em PEAD PE100 PN10 DN200 ranhurado (largura de corte 10mm e // 10 cm) com duas ranhuras equidistantes (com ângulo de 90º), envolvido em brita não calcária e geotêxtil de 300 g/m² que encaminhará por meio de caixas de visita e coletores à rede existente de recolha de lixiviados.

Devido ao surgimento e acumulação de lixiviados nos patamares superiores, junto na bermagem do caminho de acesso à cúpula do aterro, também se propõe construção de um dreno idêntico ao referido anteriormente para captação de lixiviados nas banquetas e acessos.



Foto 12 – Dreno periférico, em banquetas e acessos e caixa de reunião para encaminhamento para a rede exterior

Os poços de lixiviados construídos em anéis perfurados, durante à exploração do aterro deverão ser cobertos com anéis não perfurados acima da última camada de resíduos. Propõe-se assim, que a parte terminal destes poços seja em anéis estanques \varnothing 2.00 m com cerca de 1.0 m acima da cobertura final do aterro. Todos os poços de lixiviados deverão ser selados e possuir drenagem de biogás com pelo menos dois tubos de PEAD DN200 ligados à camada drenante de biogás por baixo do sistema de impermeabilização. Estes tubos podem assim, ter duas funções, remoção do biogás dos poços e condução de algum lixiviado que se encontre na camada drenante de biogás para o interior dos poços.

Todos os lixiviados recolhidos no aterro, devem ser encaminhados através dos coletores existentes para a ETAL.

4.11 Prolongamento do muro de gabiões

No âmbito deste projeto está previsto o prolongamento do muro de gabiões existente na periferia do aterro, abrangendo a totalidade do perímetro da célula.

Para a construção do referido gabião terão que ser usados os mesmos procedimentos gerais, que foram usados na obra existente, que consistiram de forma genérica em:

- Remoção da valeta periférica existente por meios mecânicos e manuais adequados, incluindo demolições, escavações, carga, descarga e transporte dos produtos sobranes a destino adequado;
- Remoção de terras e resíduos na periferia da célula e que interfiram com os trabalhos;
- Remoção de sistema de impermeabilização da cobertura provisória dos resíduos, incluindo a remoção de todas as terras sobre o sistema de impermeabilização;
- Colocação do sistema de impermeabilização do fundo da célula à vista;
- Preparação da base e assentamento de valeta em meia cana $\varnothing 400$ mm;



Foto 13 – Demolição da valeta periférica, remoção de terras e resíduos e colocação de sistema de impermeabilização de fundo à vista

- Construção de valeta periférica em manilhas de betão Ø400 mm;
- Construção de base de assentamento do muro de gabião com pelo menos 1.20 m de largura;



Foto 14 – Construção da base de assentamento do gabião

- Colocação de um prolongamento de geomembrana PEAD 2 mm, incluindo soldaduras por dupla pista e realização de todos os ensaios de estanquicidade.



Foto 15 – Prolongamento do sistema de impermeabilização de fundo

- Construção de dreno periférico com geotêxtil, seixo rolado e tubo de PEAD DN200 ranhurado a 120º e realização de caixas de ligação à rede de drenagem de águas lixivantes existente;



Foto 16 – Drenagem periférica de lixiviados

- Colocação de uma pestana em PEAD com pelo menos 6.00 m de largura e soldadura por extrusão à geomembrana da base aplicada (geomembrana da cobertura);



Foto 17 – Soldadura entre o sistema de impermeabilização de fundo e da cobertura

- Construção de muro de gabião de 1 m3 sobre a base e sistema de impermeabilização, assente sobre manta de geotêxtil de 300 g/m2 e dreno de PEAD DN200 com intervalos de 50 m para drenagem pluvial e tubagem de PEAD DN200 para passagens de todos os tubos de biogás.





Foto 18 – Construção de muro de gabião

4.12 Reinscrição de lixiviados

Com o encerramento do aterro, propõe-se também a execução de poço no topo do aterro ligado a e valas de reinjeção de lixiviados na massa de resíduos (plataforma superior) e respetiva rede superficial de alimentação em PEAD DN90 sobre o sistema de impermeabilização (à vista), para humidificação e indução da degradação dos resíduos, potenciando desta forma a produção de biogás. A conduta de alimentação será ligada ao marco existente, que dispõe de duas válvulas de seccionamento, que permitem respetivamente a condução do concentrada da osmose inversa na célula (reinjeção) ou o envio para a lagoa.



Foto 19 – Atual sistema de reinscrição de lixiviado no aterro

Para recolha do lixiviado em excesso, o poço no topo do aterro terá um overflow que conduzirá o excesso de lixiviado para a lagoa por meio de uma tubagem em PEAD DN110.

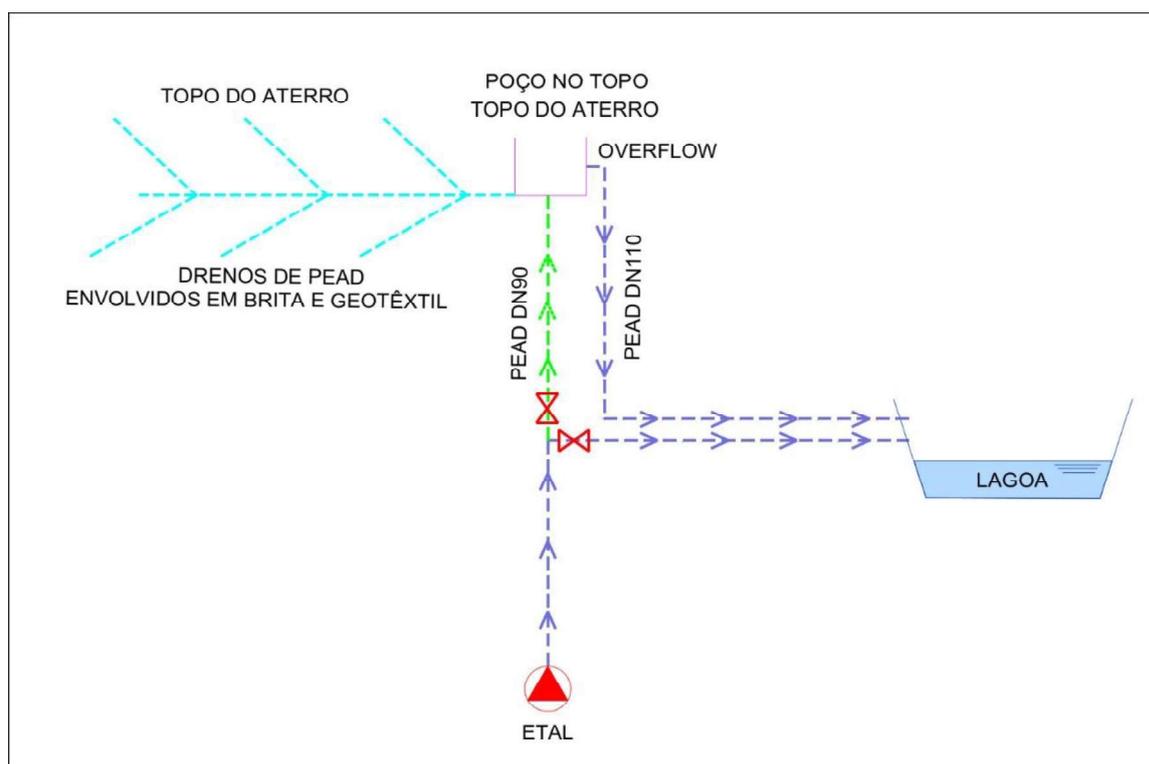


Figura 3 – Esquema de reinjeção de lixiviado no aterro

4.13 Impermeabilização

A impermeabilização será realizada com recurso à instalação de geomembrana em PEAD com 1,5 mm de espessura e rugosa e do geotêxtil não tecido de 300 g/m² para proteção inferior da geomembrana. A geomembrana será ancorada em banquetas conforme detalhe do projeto e interligada ao sistema de impermeabilização basal na zona periférica da célula, conforme pormenores do projeto. Em zonas de poços de biogás intersetados pelos geossintéticos deverá ser executada uma interligação adequada, conforme pormenor do projeto.

Sobre o sistema de impermeabilização será aplicado geocomposto drenante (com geotêxteis em ambas as faces), para drenagem do subsolo na cúpula, taludes, rampa de acesso e nas banquetas do aterro.

Nos taludes e banquetas está ainda previsto instalar uma geogrelha de estabilização com uma resistência 80KN/m ancorada por valas de amarração, para aumentar a estabilidade do sistema de cobertura.

Nas cúpula, banquetas e acesos está previsto aplicar uma camada de 0,50 m de brita envolvida em geotêxtil de 300 g/m² para melhorar a drenagem das águas pluviais da cobertura.

Para a condução das águas pluviais até à valeta periférica serão executada trincheiras drenantes (com uma secção de 1.0 x1.0 m), na cúpula e taludes.

Após estese trabalhos serão realizados os arranjos paisagísticos que incluem a colocação de 0.70 m de terras e 0.30 m de terra vegetal. Nos taludes será aplicado um sistema de reforço para fixação da hidrosementeira com se verá no capítulo seguinte.

4.14 Estabilização de taludes com Biomantas

Para evitar instabilidade dos taludes deverá ser utilizado um sistema biomantas anti erosiva e retentora de sedimentos.

Este sistema permite uma proteção imediata contra o efeito dos agentes erosivos, processos de deslocamento e mobilização de partículas como áreas recém terraplenadas não estabilizadas ou seja áreas com recobrimento deficiente da vegetação para proteção dos dispositivos de drenagem.

As biomantas podem ser aplicadas diretamente sobre a superfície que se deseja proteger com finalidades estéticas, ambientais e para estabilização de solos. A composição, degradabilidade, gramatura, e resistência das biomantas é variável e deve adequar-se às necessidades dos projetos de recuperação e proteção ambiental.



Foto 20 – Biomantas – estabilização dos taludes

4.15 Hidrosementeira

4.15.1 Considerações gerais

Após a colocação da biomanta e da terra vegetal na cúpula, banquetas e taludes deverá ser efetuada uma hidrossementeira de prado de sequeiro.

O método de hidrosementeira deverá consistir na sementeira mecânica de uma mistura de sementes (herbáceas e/ou arbustivas), fibras de madeira, fertilizantes, correctivos/aditivos biológicos do solo e água, executada através de um hidrossemeador.

Este equipamento deverá fazer uma mistura constante e homogénea de todos os componentes da hidrosementeria, os quais serão depois projetados sobre a superfície do solo.

O resultado deverá ser uma manta adesiva contínua, tridimensional e porosa, que proporcione um controlo imediato da erosão e um ambiente ideal de crescimento, com todos os elementos essenciais à germinação da semente (nutrientes, humidade, temperatura) e ao desenvolvimento de uma cobertura vegetal saudável.

O tipo de aditivos deverá ser selecionado em função das características do solo onde será aplicado (taludes, banquetas e cúpula).

4.15.2 Preparação do solo

As banquetas e a cúpula deverão apresentar uma superfície com a rugosidade indispensável para permitir uma boa aderência da semente e facilitar a infiltração da água da chuva.

Sempre que o terreno se encontre compactado deverá realizar-se uma mobilização superficial por meio de escarificação até cerca de 15 cm de profundidade.

O terreno deverá estar limpo, não deve ter infestantes para não competirem com a sementeira a realizar.

5. MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Para a definição da selagem final foi efetuada uma modelação tridimensional da massa de resíduos depositada em aterro, bem como do sistema de encerramento previsto.

Desde modelo resultaram perfis que se apresentam em anexo. Trata-se de perfis longitudinais e perfis transversais com cotas finais da modelação dos resíduos e as cotas previstas para a recuperação paisagística.

Com base na modelação tridimensional determinaram-se os volumes rigorosos dos solos argilosos a colocar sobre a massa de resíduos, as áreas a impermeabilizar e solos necessários para a recuperação paisagística.

6. TRABALHOS A DESENVOLVER NA EMPREITADA

Os trabalhos de selagem a desenvolver identificados a realizar serão os necessários ao cumprimento dos requisitos aplicáveis nos termos da legislação e das licenças em vigor, designadamente as seguintes tarefas;

- 1) Modelação/movimentação de resíduos e terras onde necessário, procurando-se minimizar ao máximo a remoção de resíduos para evitar odores;
- 2) Remoção/reperfilamento de taludes e banquetas onde existam resíduos e/ou terras em excesso, designadamente sobre a periferia da célula para permitir a soldadura de arranque da geomembrana da selagem, execução de um dreno perimetral interno de escoamento de lixiviados e reposição da funcionalidade da valeta pluvial periférica;
- 3) Execução de valas de ancoragem para os geossintéticos, onde necessário;
- 4) Fornecimento e aplicação de terras adequadas em taludes, banquetas e plataformas, isentas de pedras e materiais pontiagudos, para receção dos geossintéticos do complexo de impermeabilização final;
- 5) Fornecimento e aplicação de um sistema de desgaseificação/descompressão para biogás sob a geomembrana, constituído por uma rede reticulada de trincheiras drenantes envoltos em geotêxtil não tecido de 300g/m², ligados aos poços de captação existentes, conforme definido em projeto;

- 6) Fornecimento e aplicação de barreira de impermeabilização com geossintéticos de acordo com a estratigrafia definida – na plataforma superior, nas banquetas e nos taludes;
- 7) Execução da rede de drenagem de águas pluviais para ligação à valeta perimetral existente;
- 8) Aplicação das camadas de solos de cobertura sobre os geossintéticos, incluindo a colocação de geotêxtil de proteção de 300g/m² sobre a geomembrana – na cupula, nas banquetas e nos taludes;
- 9) Aplicação de Biomantas anti erosivas em taludes;
- 10) Realização de hidrossementeira;
- 11) Colocação de marcas superficiais para controlo dos assentamentos;

7. CONCLUSÃO

De um modo genérico o encerramento da célula de deposição de resíduos industriais não perigosos deverá obedecer ao disposto no Decreto-Lei nº183/2009 de 10 de Agosto, nomeadamente ao constado na Tabela nº1 do Anexo I.

Os procedimentos de acompanhamento e controlo na fase pós-encerramento deverão obedecer ao disposto na Parte B do Anexo III e na Licença Ambiental.

O acompanhamento pós-encerramento envolve:

- ✓ Manutenção da cobertura final do aterro;
- ✓ Manutenção dos sistemas de drenagem de lixiviados, águas pluviais e drenagem de biogás;
- ✓ Controlo das águas superficiais e subterrâneas;
- ✓ Controlo dos gases produzidos;
- ✓ Tratamento das águas lixivantes;
- ✓ Controlo dos dados meteorológicos;
- ✓ Controlo dos assentamentos;

ANEXOS

ANEXO 1

ESTABILIDADE TALUDES

Stability analysis of a sealing system against sliding

Preliminary design - REV 1

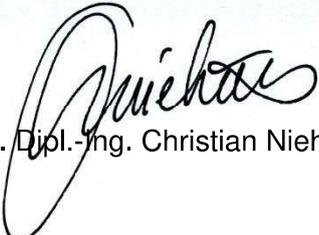
Final stage

Project: **Capping sealing system**
Landfill ECOLEZIRIA, Portugal

Client: B.B.F. – Tecnologias do Ambiente Lda.
Mr. Filipe Cascao
Av. Fernao de Magalhaes, 458 1º Dt.º
Apartado 302 – 3000-173 COIMBRA
Portugal

Proof author: BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG
Gewerbestraße 2
32339 Espelkamp-Fiestel
Germany
Phone: ++49 - 57 43 - 93 205 - 60
Fax: ++49 - 57 43 - 93 205 - 66
E-mail: contact@bbgeo.com

Espekkamp, August 24th 2018



i.V. Dipl.-Ing. Christian Niehues



i. V. Dipl.-Ing. J. Pries

Table of contents

1	Basis for proof and references.....	3
2	Enclosures	3
3	Cause	4
4	Structure of capping sealing system.....	4
5	Stability analysis of sealing system against sliding.....	5
5.1	Explanation to proof.....	5
5.2	Input values.....	7
5.3	Shear parameters	8
5.4	Stability analysis against sliding.....	9
5.4.1	Forces	9
5.4.2	Resisting forces.....	10
5.5	Degree of utilization in design situation persistent (with snow load).....	11
5.6	Short Symbols.....	11
6	Results.....	12
7	Summary	13

1 Basis for proof and references

- [1] DIN 1054-2010-12: Ground – Verification of the safety of earthworks and foundations
- [2] DIN 4084:2009-01: Sliding and slope failure calculations. Explanation and example calculations.
- [3] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT e.V.): E 3-8 „Reibungsverhalten von Geokunststoffen“, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, August 2015
- [4] Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponiebauwerke" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT e.V.): E2-7 "Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen", August 2015
- [5] Wudtke, R.-B.; Werth, K.; Witt, K.-J. (2008): Standsicherheitsnachweis für Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien", Bautechnik 9/2008, pages 596-622
- [6] DIN 1055: load assumptions for buildings, soil parameters
- [7] E-mail from Mr. Filipe Cascao (B.B.F. – Tecnologias do Ambiente, Lda.) with project relevant information (landfill geometry and planned sealing system) dated August 6th 2018
- [8] E-mail from Mr. Filipe Cascao (B.B.F. – Tecnologias do Ambiente, Lda.) with project relevant information (landfill geometry and planned sealing system, no construction phase, no snow load) dated August 14th 2018

2 Enclosures

- [E1] Stability analysis of a capping sealing system - slope inclination 1(V):2(H) ($\beta = 26.57^\circ$), max. slope length: 23 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)
- [E1.1] Determination of the necessary anchor trench dimensions - slope inclination 1(V):2(H) ($\beta = 26.57^\circ$), max. slope length: 23 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)
- [E2] Stability analysis of a capping sealing system - slope inclination 1(V):2.5(H) ($\beta = 21.80^\circ$), max. slope length: 38 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)

- [E3] Stability analysis of a capping sealing system - slope inclination 1(V): 3(H) ($\beta = 18.43^\circ$), max. slope length: 16 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)
- [E4] Stability analysis of a capping sealing system - slope inclination 1(V): 2(H) ($\varphi = 26.57^\circ$), max. slope length: 10 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)
- [E4.1] Determination of the necessary anchor trench dimensions - slope inclination 1(V): 2(H) ($\varphi = 26.57^\circ$), max. slope length: 10 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)
- [E5] Stability analysis of a capping sealing system - slope inclination 1(V): 2.5(H) ($\varphi = 21.80^\circ$), max. slope length: 20 m; final stage (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG)

3 Cause

BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG has been asked to work out a preliminary design concerning the stability of a capping sealing system against sliding for the Ecoleziria landfill capping in Portugal in the design situation – permanent (DS-P).

NAUE GmbH & Co. KG agreed to take over the costs for working out this preliminary design, subject to placement of order for all the materials specified.

4 Structure of capping sealing system

According to the given information in [7], it is planned to build a capping sealing system with a max. slope inclination of 1(V):2(H) for the ECOLEZIRIA landfill Capping in Portugal. The sealing system as defined will be documented in the following (from top to bottom):

Capping sealing system [8]:

- ⇒ Vegetation soil layer (thickness = 0.30 m)
- ⇒ Cover soil layer (thickness = 0.70 m)
- ⇒ *Veneer reinforcement Secugrid[®], if required!*
- ⇒ Geosynthetic drainage layer Secudrain[®] 131C WD401 131C
- ⇒ HDPE Geomembrane Carbofol[®] 1.5mm BF/TF
- ⇒ Protection geotextile Secutex[®] R 301C
- ⇒ Levelling layer
- ⇒ Waste

With regard to the required use of a veneer reinforcing element Secugrid[®], it is recommended to install the cover soil layer starting from the top of the slope towards the bottom.

The cover soil layer is recommended to be installed from the toe of the slope towards the top of the slope, in case that no veneer reinforcing element is required to achieve a sufficient stability of the sealing system against sliding.

5 Stability analysis of sealing system against sliding

5.1 Explanation to proof

Capping sealing systems of landfills should control the infiltration of rain water into the waste body and/or the loss of landfill gas from the waste body over a long period. These sealing systems are layered systems composed of different soil types and geosynthetics. On the inclined areas and steep slopes the layer system is permanently subject to shear stresses. For the planning of the sealing system the stability during construction, in the operating state and for the final stage has to be proven.

The stability analysis of capping sealing systems on landfill slopes has to be carried out according to current national and European standards by means of the partial safety concept. The proof is carried out according to the total stability in the ultimate limit state GEO-3. The proof against slope or ground failure is considered according to DIN 4084 - here: proof of stability against sliding in potential sliding areas within the sealing system (slope parallel sliding). In this case the sealing system is not considered as construction element but rather as integral construction. Thus, a proof of the ultimate limit state GEO-2/STR according to [1] is not relevant. Design situation – persistent (DS-P) is analysed with the partial safety concept according to [1].

For a sealing system made from geosynthetics it has to be assured, that driving forces occurring at the surface, resulting from the load of soil layers on top (e.g. mineral drainage layer) or from loads in the construction phase have to be transferred into the subsoil with the required safety through friction between the components.

The frictional forces which become effective in the shear plane between the different geosynthetics and between the geosynthetics and the soil are determined on the physical basis of the friction theory of Coulomb. According to Coulomb the friction force in the shear plane is proportional to the normal force that presses both layers against each other. The proportion factor $\mu = \tan \delta$ is called friction coefficient.

The friction angle δ depends on the materials and their surface structure. In the case of existing frictional forces without normal forces from outside, this tension-independent force is called adhesion.

For geotechnical stability analysis of multi-layered systems made from geosynthetics and soil the friction between two layers can in approximation be described by the limit state of Coulomb, dependant on the different existing tension forces: $\tau = a + \sigma \cdot \tan \delta$ (1)

In the following the adhesion portions, which are determined in laboratory tests are not considered and therefore remain as implied safety reserve.

In the case where due to low friction angles in the shear planes the required safety factor is not reached, a tensile reinforcement has to be installed between the sealing system and the soil. The driving forces which are inserted into the tensile reinforcement have safely to be absorbed at the slope crest as tension force T_G by an anchor trench or by sufficient anchorage length.

The proof of a sufficient geogrid reinforcement is carried out according to GZ 1C for a "failure at the slope crest" and "failure in the anchor trench". For the geogrid the proof of a "failure of the reinforcement" (GEO-2/ STR) has to be carried out for the loads resulting from the stability analysis in the GEO-3.

For the construction of the slope with the given maximum inclination as well as in the final stage, in this stability analysis a sufficient stability of the slope against ground failure as well as a sufficient stability of the vegetation soil and the mineral drainage layer itself is assumed to be given. Thus, sufficient internal shear strength for the stipulated inclination of the installed soil is assumed.

For the proof of sufficient stability against sliding of the different components of the sealing system against each other the equation of the limit state $R_d - E_d \geq 0$ must be given. For this proof the design values of the effects E_d (forces in down slope direction) have to be compared with the design values of the resistances (friction forces in the shear planes) according to the assumptions which are valid for the limit state. This comparison results for the most unfavourable parameters has to be calculated to the degree of utilization μ using

the formula (1b).

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0 \quad (1b)$$

The partially safety factors according to [1] which are relevant for this design are shown in table 1:

Table 1: Partial Safety Factors GEO-3 for effects and resistances

Partial Safety Factors according to DIN 1054:2010-12	DS-P	DS-T
Effects		
constant effects γ_G	1.0	
unfavourable changeable effects γ_Q	1.30	1.20
Resistances		
Friction coefficient $\tan \varphi'$ of the soil γ_φ	1.25	1.15
Friction coefficient $\tan \delta$ in contact shear plane to geosynthetics γ_φ		
Cohesion c' of the soil γ_c		
Adhesion a' in contact to geosynthetic γ_a		

5.2 Input values

System values

The geometry of the sealing system (max. slope inclination, max. slope length) according to [8], which has been considered in this stability analysis, is given in Table 2:

Table 2: Geometry (max. inclination, max. length) [7]

	Inclination	Length [m]
Slope 1	1(V): 2(H)	≤ 23
Slope 2	1(V): 2.5(H)	≤ 38
Slope 3	1(V): 3(H)	≤ 16
Slope 4	1(V): 2(H)	≤ 10
Slope 5	1(V): 2.5(H)	≤ 20

According to [4], the following parameters form the basis, which have to be checked as to their conformity on site:

Weight of cover soil layer (assumed):

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

Weight of water:

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Water accumulation height in the geosynthetic drainage layer: $h_W = 0.01 \text{ m}$

Snow load [8]: $s_k = 0 \text{ kN/m}^2$

Slope

Total soil layer thickness on top of the planned sealing system: $d_{\text{ges.}} = 1.0 \text{ m}$

Load assumptions (slope inclination: 1(V): 2(H), 1(V): 2.5(H), 1(V): 3(H))

For the following stability analysis of the sealing system against sliding, it is assumed that the soil layers on top of the sealing system in the area of the 1(V): 2(H), 1(V): 2.5(H) and 1(V): 3(H) inclined slope sections will be carried out using a long arm excavator, which is standing at the bottom or on top of the slope. Driving with a vehicle on top of the sealing system in the slope area is not allowed.

5.3 Shear parameters

For this calculation the characteristic contact friction angles for the shear planes to be considered have to be assumed. To determine the shear parameters, comparable laboratory shear tests have been considered. According to [3] it is required, to reduce the characteristic shear parameters (index k) taken from the laboratory tests (index 0). This leads to:

$$\tan \delta_k = \frac{\tan \delta_0}{1.1} \quad (2a)$$

$$a_k = \frac{a_0}{2.0} \quad (2b)$$

The contact friction angles in the shear planes soils vs. geotextile nonwoven (e.g. Secutex[®]/Secudrain[®]), can according to GRETT (1984) be assumed to:

$$\tan \delta_k = 0.90 \cdot \tan \varphi_k \quad (2c)$$

With an assumed friction angle of $\varphi_k \geq 32^\circ$ for the cover soil layer and the levelling layer, the friction angle in the shear plane cover soil layer vs. geosynthetic drainage layer Secudrain[®] 131C WD401 131C (topside-nonwoven) and geotextile Secutex[®] R 301 C vs. levelling layer can, according to GRETT (1984) be determined to $\delta_k = 29.3^\circ$.

Comparable shear box test results have been considered in the shear planes geosynthetic drainage layer Secudrain[®] 131C WD401 131C (bottom side-nonwoven) vs. Carbofol[®] BF/TF (top side: TF) and Carbofol[®] BF/TF (bottom side: BF) vs. Secutex[®] R301C.

In Table 3 the contact friction angles for the complete sealing system are documented.

The critical shear plane is the shear plane with the lowest contact friction angle. Referring to Table 3 the critical shear plane is assumed to be between the geosynthetic drainage layer

Secudrain® 131C WD401 131C (bottom side: nonwoven) vs. the HDPE geomembrane Carbofol® BF/TF with a minimum calculation contact friction angle of $\delta_k = 27.69^\circ$.

Table 3: Calculation contact friction angles in the shear planes of the capping sealing system

No	shear planes parallel to the slope given by the existing design	φ_0 [°]	δ_0 [°]	δ_k [°]
0	Vegetation soil layer vs. Cover soil layer	-	-	32 ⁽³⁾
1	Cover soil layer vs. Secudrain® 131C WD401 131C (top side: nonwoven)	32	-	29.3 ⁽¹⁾
2	Secudrain® 131C WD401 131C (bottom side: nonwoven) vs. Carbofol® BF/TF	-	30 ⁽²⁾	<u>27.69</u>
3	Carbofol® BF/TF vs. Secutex® R301C	-	30.9 ⁽³⁾	28.54
4	Secutex® R301C vs. Levelling layer	-	-	>27.69 ⁽⁴⁾

(1)Interface shear strength has been determined according to Grett (1984) taking the assumed internal friction angle of the adjacent soil material into consideration – has to be confirmed in consideration of the project specific boundary conditions by a project specific shear test geosynthetic vs. soil

(2)Based on comparable shear box tests.

(3)Assumed contact friction angle, which has to be verified by project specific shear box tests (soil vs. soil, geosynthetics vs. soil) with the planned geosynthetics and/or in-situ soil material.

For a better consideration of the friction angles in the shear planes (geosynthetics vs. soil), we recommend to carry out project specific laboratory test with the in-situ soil.

If the project specific shear tests result in lower friction angles as assumed in this stability analysis, a new stability analysis against sliding need to be carried out.

5.4 Stability analysis against sliding

For the following stability analysis it is sufficient, to examine 1 m wide, slope- parallel shear planes (potential slip planes).

5.4.1 Forces

Shear forces $t_{B,d}$

The shear force $t_{B,d}$ per running metre slope length in down slope direction resulting from the dead load of the mineral drainage layer can be calculated as:

$$t_{B,d} = \gamma \cdot \gamma_G \cdot d \cdot \sin \beta \quad (3)$$

Snow load $t_{s,d}$

For the final stage a snow load s_k (kN/m²) on the cover layer has to be considered as driving forces (resisting forces resulting from snow load see section 5.4.2). Per running metre slope length in down slope direction it can be determined:

$$T_{s,d} = s_k \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta \quad (4)$$

Forces due to seepage $s_{w,d}$

After heavy rain falls an accumulation of the water can occur in the drainage layer of the sealing system. The resulting additional driving forces are defined as seepage. In the case of this design it is assumed that a medium water level $h_w = 1$ cm for the geosynthetic drainage layer for the design situation persistent (final stage) and design situation transient (construction phase) is not exceeded. The forces due to seepage are calculated per running metre slope lengths (see formula (5)).

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta \quad (5)$$

5.4.2 Resisting forces**Frictional forces $t_{f,d}$**

The effective frictional force $t_{f,d}$ in the critical shear plane caused by the load of the cover soil is determined per running metre slope length for the design situation transient on the basis of equation 8:

$$t_{f,d} = (\gamma \cdot d_i) \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \quad (6)$$

Snow load $T_{s,h,d}$

From the snow load s_k (kN/m²) on the cover soil, which has to be considered at the final stage, an increase of the resisting forces in the shear plane per running metre slope lengths in down slope direction can be determined using the following formula.

$$t_{s,h,d} = s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta \quad (7)$$

Supporting force $S_{T,d}$ at the toe of the slope

For short slopes as well as in the case of soil installation from bottom to top (this is not the case when reinforcing elements are installed!) a resisting force resulting from the soil at the toe of the slope area can be added to the calculation as supporting force $S_{T,d}$. This has not been considered for this project.

$$S_{T,d} = 0.5 \cdot \gamma \cdot h_s^2 \cdot K_{ph,d} \cdot \cos \beta \quad (8)$$

5.5 Degree of utilization in design situation persistent (with snow load)

At first the resisting forces of a possibly required tensile reinforcing element $T_{G,d}$ are set to zero. For the construction phase an integration of the driving and the resisting forces over the entire slope length results to the following:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} = \frac{t_{B,d} \cdot l + t_{s,d} \cdot l + s_{W,d} \cdot l}{t_{f,d} \cdot l + t_{s,h,d} \cdot l + T_{G,d} + S_{T,d}} \leq 1.0 \quad (9)$$

5.6 Short Symbols

a_k	characteristic adhesion (kN/m ²), is - as a precaution - set to zero
d	thickness of the soil layer (m)
d_i	thickness d_1 (respectively $d_{ges.}$) of the soil layer where the vehicles are driving (m)
h_w	medium height of seepage water
h_s	height of the supporting layer (m)
$K_{ph,d}$	earth pressure coefficient (-)
l	slope length (m)
$s_{W,s}$	forces due to seepage (kN/m ²)
$t_{B,d}$	driving force in down slope direction (kN/m ²)
$t_{f,d}$	mobilised friction force in the critical shear plane (kN/m ²)
$T_{G,d}$	tensile strength in the reinforcing element (kN/m)
$S_{T,d}$	supporting force at the toe of the slope (kN/m)
β	slope inclination (°)
γ	soil weight (kN/m ³)
γ_w	water weight (10 kN/m ³)
δ_k	characteristic friction angle of the decisive contact area (°)
μ	degree of utilisation (-)
γ_G	partial safety factor (constant impacts)
γ_Q	partial safety factor (variable impacts)
γ_δ	partial safety factor contact friction angle (resistance)
γ_a	partial safety factor adhesion (resistance)
δ_k	characteristic friction angle (soil)
g	gravitational acceleration (10 m/s ²)
s_k	snow load according to [U6] (kN/m ²)
$t_{S,d}$	driving force resulting from snow load in down slope direction (kN/m ²)
$t_{S,h,d}$	mobilised friction force resulting from snow load (kN/m ²)

6 Results

The calculation has been worked out for the cross sections of the sealing system that were provided by the client in [8]. Table 4 shows the results from the stability analysis carried out for the capping sealing system in the 1(V):2(H) inclined and 10 m or 23 m long slope area (see enclosure [E1] and enclosure [E4]), in the 1(V):2.5(H) inclined and 20 m or 38 m long slope area (see enclosure [E2] and [E5]) and in the 1(V):3(H) inclined and 16 m long slope area (see enclosure [E3]).

Table 4: Results of stability analysis

Enclosure	Parameters			Results	
	characteristic values slope		snow load	Degree of utilisation μ for design situation persistent (final stage)	Required veneer reinforcing element Secugrid [®] Q6/R6 to achieve a sufficient stability against sliding
	β	l	s	μ	
(°)	(m)	(kN/m ²)	d_{ges}		
[E1]	26.57	23	0	1.20	Secugrid [®] 80/20 R6
[E2]	21.80	38	0	0.96	No veneer reinforcing element required!
[E3]	18.43	16	0	0.80	
[E4]	26.57	10	0	1.20	Secugrid [®] 80/20 R6
[E5]	21.80	20	0	0.96	No veneer reinforcing element required!

Based on the given boundary conditions and assumed parameters an insufficient stability against sliding in the design situation persistent (final stage) for the capping sealing system in the 1(V):2(H) inclined slope areas has been determined (see enclosure [E1] and enclosure [E4]).

To achieve a sufficient stability of the capping sealing system against sliding a veneer reinforcing element Secugrid[®] Q6/R6 is necessary (see Table 4), which has to be installed between the cover soil layer and the geosynthetic drainage layer Secudrain[®] 131C WD401 131C and anchored in an anchor trench or via an anchorage length at the slope crest. The anchor trench dimensions are documented in Enclosure [E1.1] and Enclosure [E4.1].

A sufficient stability against sliding in the design situation persistent (final stage) for the capping sealing system in the 1(V):2.5(H) and 1(V):3(H) inclined slope areas has been determined (see Enclosures [E2], [E3] and [E5]).

7 Summary

In this elaboration a preliminary design concerning the stability for the capping sealing system against sliding for the Landfill ECOLEZIRIA in Portugal has been worked out.

The calculation for the stability of the capping sealing system, based on the structure given in chapter 4, leads to an insufficient stability for the 1(V):2(H) inclined slope in the design situation – persistent (DS-P) (final stage) (see Enclosure [E1] and Enclosure [E4]). To achieve a sufficient stability of the capping sealing system against sliding a veneer reinforcing element Secugrid[®] is necessary (see Table 4), which has to be anchored in an anchor trench at the slope crest. The anchor trench dimensions are documented in Enclosures [E1.1] and [E3.1]).

A sufficient stability against sliding in the design situation persistent (final stage) for the capping sealing system in the 1(V):2.5(H) and 1(V):3(H) inclined slope areas has been determined (see Enclosures [E2], [E3] and [E5]).

The stability analysis of the capping sealing system is based on a minimum calculation contact friction angle of $\delta_k = 27.69^\circ$ in the assumed critical shear plane geosynthetic drainage layer Secudrain[®] 131C WD401 131C (top side: nonwoven) vs. Carbofol[®] 1.5mm BF/TF.

Terms of Installation

The installation of the cover soil layer has to be carried out carefully with the use of a long arm excavator, which is standing at the bottom or on top of the slope. Driving with a vehicle on top of the capping sealing system in the slope area is not allowed

With regard to the required use of a veneer reinforcing element Secugrid[®], it is recommended to install the cover soil layer starting from the top of the slope towards the bottom.

The cover soil layer is recommended to be installed from the toe of the slope towards the top of the slope, in case that no veneer reinforcing element is required to achieve a sufficient stability of the sealing system against sliding.

If other boundary conditions in the construction phase or in the final stage are given, compared to the values as stated in this analysis (e.g. different soil thickness, different soil

parameters, different shear planes, different slope length and inclination, etc.) a new calculation of the system stability has to be worked out.

The results and indications of this study are not to be transferred to other products than the products named within this study, as material parameter, surface structures and details of the technical constructions are of major influence on the stability results.

For a secure statement concerning the stability of the capping sealing system against sliding, we recommend to carry out project specific shear tests with the in-situ material together with the geosynthetic components. If the project specific shear box tests result in lower friction angles as assumed in this stability analysis, a new stability analysis against sliding need to be carried out.

For the construction of the slope with the given maximum inclination, in this stability analysis a sufficient stability of the slope against ground failure as well as a sufficient stability of the cover soil itself is assumed to be given. The stability of the soil layer itself is not part of this stability analysis.

The information, assumptions and calculations given in this statement correspond to the latest technical know-how of the editor; they cannot be transferred to other geotextiles. All rights of this statement are reserved. The special foundation engineering / soil static use of the results or the examination of their completeness,

respectively, are subject to the experts on site who should prove the situation on site regarding the planned project as well as the soil. As far as the given technical recommendations in this report are beyond the state-of-the-art (trial clause) the user complies with the hereby defined disclaimer. Alternatively the technical report has to be sent back to the editor without further use. Copyright[®] by BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp.

Q:\Pries\Stellungnahmen 2018\OFD Oberflächenabdichtungen\OFD ECOLEZIRIA CAPPING PORTUGAL\REV1\2018-08-07

Stability proofs_Capping sealing system_landfill ECOLEZIRIA.docx

Determination of the necessary anchor trench dimensions (GZ 1C)

Long term design strength of a reinforcing element $T_{B,d}$ = required. $F_{B,d}$ as transferred loads into the anchor trench (from GZ1C):

32,67 kN/m

Slope inclination β =

26,57 °

System (from top to bottom):

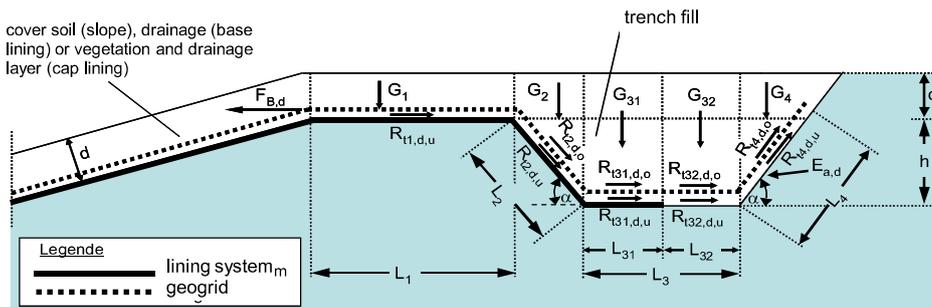
- cover soil, d = 100 cm
- Secugrid 80/20 R6
- Secudrain 131C WD401 131C
- Carbofol 1.5mm BF/TF
- Secutex R 301 C
- Levelling layer
- Waste

Partial safety factors for driving & resisting forces, according to DIN 1054 - 2010-12:			
	DS-P	DS-T	DS-A
driving forces: γ_G	1,00	1,00	1,00
resisting forces: $\gamma_\varphi = \gamma_\delta$	1,25	1,15	1,10

The critical contact friction angle for the sealing system has been considered with geosynthetic drainage layer Secudrain 131C WD401 131C vs. Carbofol 1.5 mm BF/TF.

27,69 ° in the shear plane

Geometry of the anchor trench (not to scale):



Depth of the anchor trench h (m): m
 Inclination of the anchor trench α (°): °
 Thickness of the cover layer d (m): m

L_1 = m
 L_2 = m
 L_3, L_{31}, L_{32} = m
 L_4 = m

Total width of the working room: m
 (Böschungskante bis Ende Verankerungsgraben)

Installation:

Please care the trench bottom!

The surface of the bottom of the anchor trench has to be roughened, before the reinforcing element (here: Secugrid) will be installed.

Soil parameters:

Cover layer

Friction angle (°):
 Unit weight of the soil (kN/m³):

Fill soil of the anchor trench:

Friction angle (°):
 Unit weight of the soil (kN/m³):

Subsoil

Friction angle (°):
 Unit weight of the soil (kN/m³):

Resistance against pull-out:

Resistance against pull-out of the geogrid within k_1 :

$$R_{t1,d,bottom} = \gamma_{vegetation\ soil} * d * (\tan \delta_k / \gamma_\delta) * L_1 = \boxed{7,98 \text{ kN/m}}$$

Resistance against pull-out of the geogrid within k_2 :

$$R_{t2,d,bottom} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * 0,5 * h) * (\tan \delta_k / \gamma_\delta) * L_2 = \boxed{7,18 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t2,d,top} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * 0,5 * h) * 0,9 * (\tan \phi_k / \gamma_\phi) * L_2 = \boxed{7,70 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t2} = R_{t2u} + R_{t2o} = \boxed{14,88 \text{ kN/m}}$$

Resistance against pull-out of the geogrid within k_{31} :

$$R_{t31,d,u} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * h) * L_{31} * (\tan \delta_k / \gamma_\delta) = \boxed{6,38 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t31,d,o} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * h) * 0,9 * L_{31} * (\tan \phi_k / \gamma_\phi) = \boxed{6,84 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t31} = R_{t31u} + R_{t31o} = \boxed{13,22 \text{ kN/m}}$$

Resistance against pull-out of the geogrid within k_{32} :

$$R_{t32,d,u} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * h) * L_{32} * 0,9 * (\tan \phi_k / \gamma_\phi) = \boxed{0,00 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t32,d,o} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * h) * L_{32} * 0,9 * (\tan \phi_k / \gamma_\phi) = \boxed{0,00 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t32} = R_{t32u} + R_{t32o} = \boxed{0,00 \text{ kN/m}}$$

Resistance against pull-out of the geogrid within k_4 :

$$R_{t4,d,u} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * 0,5 * h) * 0,9 * (\tan \phi_k / \gamma_\phi) * L_4 = \boxed{0,00 \text{ kN/m}}$$

$$R_{t4,d,o} = (\gamma_{vegetation\ soil} * d + \gamma_{Fill\ material} * 0,5 * h) * 0,9 * (\tan \phi_k / \gamma_\phi) * L_4 = \boxed{0,00 \text{ kN/m}}$$

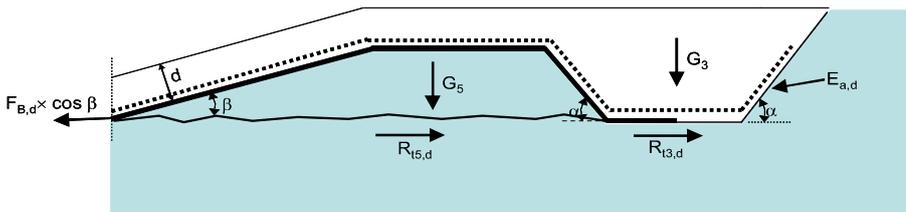
$$R_{t4} = R_{t4u} + R_{t4o} = \boxed{0,00 \text{ kN/m}}$$

The resistance against pull-out of the geogrid is: $\Sigma R_{ti,d} = \boxed{36,08 \text{ kN/m}}$

Active earth pressure E_a :

$$E_{a,d} = 0,5 * \gamma * (h+d)^2 * (\tan^2(45-\phi/2)) = \boxed{9,50 \text{ kN/m}}$$

Resistance against shearing of the anchor trench:



$$G_{5,d} [\text{kN/m}] = [(0,5 * (h/\tan \beta) + L_1 + 0,5 * (h/\tan \alpha)) * h * \gamma_{Subsoil}] + [(h/\sin \beta) + L_1 + (h/\tan \alpha)] * d * \gamma_{Cover\ soil} + [0,5 * (h/\tan \alpha) * h * \gamma_{Fill\ material}]$$

$$= \boxed{73,26} \text{ kN/m}$$

$$R_{t5,d} = G_{5,d} * (\tan \phi) / \gamma_\phi = \boxed{39,80} \text{ kN/m}$$

$$R_{t31,d,u} = \boxed{6,38} \text{ kN/m}$$

$$R_{t32,d,u} = \boxed{0,00} \text{ kN/m}$$

$$R_{t5,d} + R_{t3,d} = \boxed{46,19} \text{ kN/m}$$

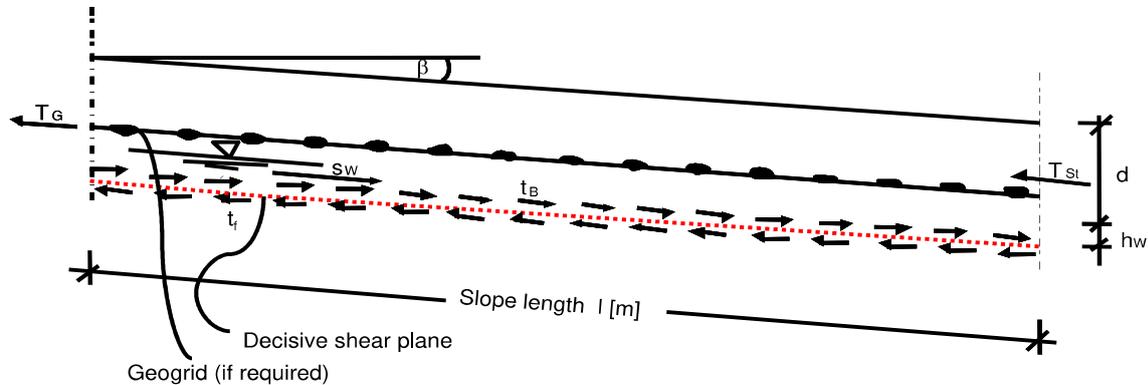
$$(R_{t5,d} + R_{t3,d} - E_{a,d}) > F_{B,d} * \cos \beta = \boxed{36,69 \text{ kN/m} > 29,22 \text{ kN/m}} \quad \text{O.K.}$$

Stability against pull-out of the reinforcement:

$$\Sigma R_{ti,d} > F_{B,d} = \boxed{36,08 \text{ kN/m} > 32,67 \text{ kN/m}} \quad \text{O.K.}$$

Abmessungen des Verankerungsgrabens beachten!

Final stage (GEO-3 / DIN 1054:2005) BS-P (LC 1 / no vehicles)



Input values to calculate the stability (GEO-3 / DIN 1054:2005):

slope inclination:	$\beta =$	26,57 °
slope length:	$l =$	23,00 m
layer thickness of cover soil:	$d_1 =$	0,30 m
	$d_2 =$	0,70 m
	$d_{ges.} =$	1,00 m
snow load:	$s =$	0,00 kN/m ²
unit weight of the soil:	$\gamma =$	19,00 kN/m ³
medium head of water:	$h_w =$	0,01 m
unit weight of water:	$\gamma_w =$	10,00 kN/m ³
contact friction angle:	$\delta_k =$	27,69 °
toe stabilization height :	$h_s =$	0,00 m
earth pressure factor:	$k_{ph,d} =$	4,82 [-] for $\varphi_{d,soil} = 27.5^\circ$
partial safety factors:	permanent actions $\gamma_G =$	1,00 (favourable)
	variable actions $\gamma_Q =$	1,30 (unfavourable)
	soil / materials $\gamma_\delta = \gamma_\phi =$	1,25 (friction resistance)

● driving forces:

driving force (soil):

$$t_{B,d} = \gamma * \gamma_G * d_{ges.} * \sin \beta = 8,497 \text{ kN/m}^2$$

driving force (snow):

$$t_{S,d} = s * \gamma_Q * \sin \beta = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

force due to seepage:

$$s_{w,d} = \gamma_w * \gamma_Q * h_w * \sin \beta = 0,058 \text{ kN/m}^2$$