



PROJETO DE REENGENHARIA DO ATERRO DA BRAVAL

PROJETO DE EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

SETEMBRO 2025

PROJETO DE REENGENHARIA DO ATERRO DA BRAVAL

PROJETO DE EXECUÇÃO

CONTEÚDO GERAL DO PROJECTO DE EXECUÇÃO:

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

PEÇAS DESENHADAS

ÍNDICE

1. OBJETO DO PROJETO.....	1
2. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO.....	2
3. ENQUADRAMENTO GERAL.....	3
4. INTERVENÇÕES DE REENGENHARIA.....	3
5. BASE DO PROJECTO.....	5
6. SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	5
7. SISTEMA DE DRENAGEM DE LIXIVIADOS.....	6
8. VERIFICAÇÕES TÉCNICAS	8

1. OBJETO DO PROJETO

O presente documento refere-se ao projeto de execução de reengenharia das células 1 e 2 do aterro sanitário da Braval, inserido no Ecoparque Braval.



Figura 1 – Vista aérea do Ecoparque Braval (2020).

Fonte: Google Earth

O aterro sanitário da Braval constitui uma infraestrutura de confinamento técnico destinada à deposição final de resíduos sólidos urbanos não perigosos que não foram suscetíveis de valorização após o tratamento na Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico.

O esgotamento da capacidade de deposição de resíduos nas células 1 e 2 do aterro da Braval, induziu a necessidade de dar início a estudos e projetos subjacentes a intervenções de reengenharia dessas células 1 e 2 de modo a, de forma imediata, disponibilizar capacidade de deposição de resíduos em aterro.

Neste contexto, o presente projeto diz respeito às intervenções de reengenharia que, em síntese, se traduzem na união das duas células (1 e 2) existentes e na subida de cota do aterro através da criação de plataformas adicionais no topo do aterro.

Estas intervenções permitem a continuidade da exploração do aterro existente, constituído pelas células 1 e 2, permanecendo inalterados e operacionais os sistemas e infraestruturas de apoio à exploração do aterro, como são exemplo, as acessibilidades e as redes de drenagem de lixiviados, pluviais e biogás.

2. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO

A Braval é responsável pela gestão dos resíduos sólidos urbanos provenientes de seis municípios: Braga, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Verde, Amares e Terras de Bouro.

A recolha e o transporte dos resíduos são realizados pelos próprios municípios, sendo os resíduos encaminhados diretamente para o Ecoparque Braval. Excecionam-se os concelhos de Vieira do Minho e Terras de Bouro, cujos resíduos são inicialmente levados para a Estação de Transferência localizada no Parque Industrial de Pepim, em Vieira do Minho, a cerca de 25 km do Ecoparque Braval. A partir daí, os resíduos são transportados para o Ecoparque pela Braval, com uma frequência bissemanal.

O aterro sanitário constitui o destino final para os resíduos que não são valorizados, integrando-se na orgânica de funcionamento do Ecoparque Braval como etapa última do sistema de gestão de resíduos operado pela Braval.

O aterro existente na Braval, constituído pelas células 1 e 2, ocupa uma área aproximada de 12 hectares e recebe, em média, cerca de 110.000 toneladas de resíduos por ano.

3. ENQUADRAMENTO GERAL

As instalações do Ecoparque Braval são constituídas, genericamente, por um Edifício Administrativo; uma Estação de Triagem de resíduos recolhidos seletivamente; uma Unidade de Produção de Biodiesel; um Ecocentro; um ponto de Receção de Pneus Usados; uma Unidade de Valorização de Biogás; uma Unidade de Tratamento de Resíduos Hospitalares; uma Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico; um Aterro; e outras instalações e equipamentos necessários ao funcionamento de todo o sistema, tais como, lagoas de lixiviados, sistema de desodorização, laboratório, estação meteorológica, unidade de lavagem de rodados e portaria. Mencione-se, ainda, a existência de uma Estação de Transferência e um Ecocentro em Vieira do Minho

Conforme consta no TUA da Braval, o aterro «(...) contempla duas células para o confinamento de resíduos não perigosos, sendo que a célula 1 é constituída por seis alvéolos, possuindo um volume de encaixe total de 1.550.000 m³ e uma capacidade de deposição de resíduos de 1.990.000 toneladas, sendo que a sua capacidade já se encontra esgotada e a célula selada, com tela. A célula 2 previa ser constituída por quatro alvéolos, possuindo um volume total de encaixe total de 1.015.209,21 m³ e uma capacidade de deposição de resíduos de 1.319.772 toneladas, sendo que apenas dois desses alvéolos (alvéolos 1 e 2) foram construídos e se encontram em exploração, pelo que o volume desta célula para já é de 508.955,69 m³ a que corresponde uma capacidade de 660.472,40 toneladas (...)».

Acontece que, face ao esgotamento da capacidade de deposição das células 1 e 2 (parte construída), a Braval decidiu-se pela implementação de medidas de reengenharia do aterro existente, que permitem disponibilizar, de forma imediata, volume adicional para a deposição de resíduos.

4. INTERVENÇÕES DE REENGENHARIA

As intervenções de reengenharia compreendem:

- União das duas células de aterro existentes, e
- Subida de cota do aterro através da criação de plataformas adicionais no topo do aterro

As intervenções permitem, na totalidade, um volume adicional de deposição de resíduos de cerca de 525.540 m³. A tabela que se segue sintetiza os principais quantitativos subjacentes ao projeto de reengenharia das células 1 e 2 do aterro.

Tabela 1 – Capacidade de deposição adicional disponibilizada pela intervenção de reengenharia

Área total das células 1 e 2	ha	~ 12
Volume de encaixe adicional	m ³	~ 525 540
Capacidade adicional de deposição	ton	~ 677 950
Resíduos anuais depositados	m ³	100 000
Tempo de vida adicional	anos	~ 5,2

Para a concretização das intervenções de reengenharia mencionadas, identificam-se as seguintes principais operações objeto do presente projeto:

- União da célula 1 e da célula 2 do aterro, por eliminação por integração da via de circulação que separa estas células, com aplicação de sistema de proteção ambiental passiva e ativa, para viabilizar a posterior deposição de resíduos,
- Implementação de um sistema de drenagem de lixiviados na zona de consolidação do aterro, concretamente na plataforma de topo da célula 1, com o encaminhamento de lixiviados para a rede de drenagem e o sistema de tratamento de lixiviados existentes e em operação.

A efetiva concretização da reengenharia é corporizada com a modelação topográfica do aterro na área disponibilizada para aumento de capacidade de deposição. A modelação do aterro visa não só otimizar a utilização do espaço disponível, mas também garantir a integração adequada da infraestrutura na envolvente paisagística.

Para a conceção das intervenções de reengenharia do aterro, foram ainda considerados outros fatores, entre os quais se destacam:

- A existência de diferentes unidades operacionais no Ecoparque Braval
- A localização e traçado das redes técnicas, infraestruturas e acessos existentes
- As características topográficas e morfológicas das células de aterro.

Estes elementos foram determinantes para a definição da solução projetada, assegurando a viabilidade técnica e ambiental da reengenharia do aterro.

5. BASE DO PROJECTO

O terreno disponibilizado para o projeto de reengenharia compreende as células 1 e 2 do aterro existente, o que perfaz uma área total de cerca de 12 hectares.

A reengenharia compreende uma intervenção que assenta na união das duas células de aterro existentes e na subida de cota do aterro através da criação de plataformas adicionais no topo do aterro. Para além das intervenções identificadas, não se identificam outras intervenções a efetuar, na medida em que serão utilizados os sistemas, as redes e as infraestruturas já instaladas que servem as células 1 e 2 existentes e que se encontram em pleno funcionamento.

Para a elaboração do presente projeto, foi estabelecida a cota máxima admissível para a plataforma de topo do aterro, tendo em consideração as condicionantes técnicas, ambientais e legais aplicáveis. Esta cota máxima é de 480 metros e a coluna de resíduos máxima é inferior a 50 metros. No seguimento, procedeu-se à modelação final do aterro, de forma a otimizar a sua capacidade volumétrica dentro dos limites estabelecidos. A modelação proposta para os taludes do aterro apresenta inclinação não superior a 2H:1V.

Esta abordagem permitiu maximizar a eficiência do aproveitamento do volume de encaixe disponível, assegurando simultaneamente a conformidade com os requisitos de estabilidade geotécnica, segurança operacional e minimização de impactes ambientais associados à operação do aterro.

O volume adicional para deposição de resíduos, resultante da reengenharia do aterro, é de cerca de 525 540 m³.

6. SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A união das células 1 e 2 do aterro é efetuada por integração da via de circulação que separa estas células. Em resultado, a “via de circulação” passa a ser “fundo de célula”, assegurando a continuidade entre as células 1 e 2 existentes. Neste contexto, torna-se necessário assegurar a instalação dos sistemas de proteção ambiental, passiva e ativa, na área a intervencionar.

No sentido de garantir a melhor proteção ambiental, o sistema de selagem de fundo de célula para um aterro de resíduos não perigosos, de acordo com o definido na legislação, tem de garantir os seguintes requisitos mínimos:

- Sistema de proteção ambiental passiva constituído por uma formação geológica de baixa permeabilidade ($k \leq 10^{-9}$ m/s) com uma espessura superior a um metro, ou, caso tal condição não se verifique, reforço com uma barreira artificial equivalente com uma espessura mínima de 0,5 m;
- Sistema de proteção ambiental ativa constituído por uma barreira de impermeabilização artificial.

Assim, no que se refere ao sistema de impermeabilização na área ocupada pela via de circulação, será estabelecido o seguinte esquema:

- Barreira de segurança passiva - tela de geocompósito bentonítico com constante de permeabilidade $k \leq 2 \times 10^{-11}$ m/s, colocada sobre uma sub-base preparada com uma espessura de 0,5 m e $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s, correspondente a uma base de assentamento compactada, isenta de pedras e materiais angulosos.
- Barreira de segurança ativa – na parte superior da barreira de segurança passiva será instalada uma geomembrana de polietileno de alta densidade com uma espessura de 2 mm, rugosa em ambas as faces. Para proteger a geomembrana de impermeabilização será instalado, sobre a mesma, um geotêxtil não texturizado com uma gramagem de 500 g/m² e uma resistência mínima à perfuração de 3 150 N.

A instalação dos materiais, do geocompósito bentonítico, da geomembrana de impermeabilização e do geotêxtil de proteção será executada sob um exigente controlo de qualidade ao nível do controlo da receção dos materiais, inspeção dos métodos de instalação das camadas e inspeção das soldaduras entre as camadas de proteção, nomeadamente às telas das células 1 e 2.

No desenho R_BRV_102 apresenta-se pormenores do sistema de impermeabilização inferior a adotar na união entre as células 1 e 2.

7. SISTEMA DE DRENAGEM DE LIXIVIADOS

A célula 1 do aterro, principalmente a sua área a norte, constitui-se como uma zona consolidada do aterro, correspondente a uma massa de resíduos depositados há mais de vinte anos, cobertos superiormente com tela de impermeabilização há mais de dez anos.

Nestas circunstâncias, no sentido de minimizar a infiltração de lixiviados na massa de resíduos consolidada, na plataforma de topo da célula 1, na zona destinada à deposição de resíduos, será mantida a tela de impermeabilização, sobre a qual será instalado um sistema de recolha e drenagem de lixiviados, com o encaminhamento de lixiviados para a rede de drenagem e sistema de tratamento de lixiviados existentes e em operação.

Assim, foi prevista a execução de uma camada drenante com o objetivo de permitir o escoamento eficiente dos lixiviados gerados pela deposição dos resíduos sólidos urbanos e pela incidência pluvial, assegurando a sua condução até à rede de recolha e posterior tratamento.

A camada drenante será constituída por uma camada de brita rolada de granulometria 40/60 mm, isenta de finos, com uma espessura mínima de 0,40 m, conforme representado nos pormenores do desenho R_BRV_200.

Esta camada será aplicada imediatamente sobre um geotêxtil não tecido, que garante a proteção mecânica da tela de impermeabilização existente.

Complementarmente, está prevista a instalação de uma rede de drenagem de lixiviados, executada em tubo ranhurado em PEAD Ø250mm, envolvido em manta geotêxtil não tecida, com funções de filtração e separação, prevenindo a colmatagem do sistema por partículas finas.

Este sistema de tubagens é instalado ao longo e no seio da camada drenante, com declives mínimos de 2%, de forma a garantir o adequado encaminhamento dos lixiviados até às caixas de recolha de lixiviados, conforme indicado nos desenhos R_BRV_200.

O conjunto formado pela camada drenante e pela tubagem de recolha de lixiviados assegura a remoção rápida e contínua dos lixiviados, evitando a acumulação de líquido sobre a geomembrana existente.

A drenagem dos lixiviados é integrada na rede existente de lixiviados, com os tubos condutores a convergir para as caixas de visita pré-fabricadas (modelo pré-fabricado em PP), implantadas ao longo do traçado. A topografia e modelação do terreno garantem que os lixiviados fluem graviticamente para estas estruturas, otimizando o desempenho do sistema e reduzindo a necessidade de bombagem.

O aterro da Braval dispõe de um conjunto de bacias de lixiviados e sistema de tratamento de lixiviados com capacidade adequada para tratar os efluentes gerados no âmbito da reengenharia. Deste modo, prevê-se a integração do sistema de drenagem no sistema de gestão de lixiviados já existente, através da sua ligação a caixa existente, atualmente em funcionamento no aterro.

8. VERIFICAÇÕES TÉCNICAS

A – Geomembrana de PEAD

A geomembrana em PEAD tem como principal função servir como barreira ativa aos fluidos, evitando qualquer fuga de líquidos contaminados (lixiviados) para o meio ambiente exterior.

De forma a garantir que a membrana existente é adequada para o aumento de capacidade do aterro resultante da reengenharia, verificou-se a sua resistência face à nova altura de resíduo.

PRESSÃO MÁXIMA EXERCIDA PELA MASSA DE RESÍDUOS DEPOSITADOS

A pressão máxima exercida pela massa de resíduos depositada nas células, admitindo-se para efeito de cálculo 50,00 m de altura de resíduos é dada por:

$$(1) \quad P = (H \times Pr) + (di \times Pi) + (h \times Pf)$$

Sendo:

Pr Peso específico dos resíduos – **10 KN/m³**;

Pi Peso específico dos materiais que constituem a camada drenante – **20 KN/m³**;

Pf Peso específico dos materiais que constituem a cobertura final – **21 KN/m³**;

di Espessura dos diferentes materiais da camada drenante – **0,50 m**;

H Altura mais desfavorável da massa de resíduos (m) - **50,00 m**;

h Altura da cobertura final – **1,0 m**.

Deste modo, de acordo com a fórmula (1):

$$P = 531,0 \text{ KN / m}^2$$

DIMENSIONAMENTO DA GEOMEMBRANA EM PEAD

A espessura da geomembrana é determinada por:

$$\text{Espessura (2)} \quad \sigma_{adm} \times e_{req} \times \cos \beta = P \times b \times [\text{tg}(\delta_s) + \text{tg}(\delta_i)]$$

Sendo:

σ_{adm} Tensão admitida – **30.000 KN/m²**;

e_{req} Espessura requerida à geomembrana (m);

P Pressão aplicada – **531,0 KN/m²**;

b Tolerância admitida – **5%**;

δ_s Ângulo de atrito entre a geomembrana e o material superior – **10°**;

δ_i Ângulo de atrito entre a geomembrana e o material inferior – **10°**;

β Ângulo da força mobilizadora da geomembrana com a horizontal – **30°**.

Deste modo, de acordo com a fórmula (2):

$$e_{req} \approx 7,44 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Considerando um fator de segurança de 2 obtemos:

$$e_{req} \approx 1,49 \times 10^{-3} \text{ m} \approx 1,49 \text{ mm}$$

Verifica-se, com base nos cálculos efetuados que a aplicação de uma geomembrana com uma espessura de 2,0 mm garante com margem de segurança a impermeabilização da zonal basal da área de confinamento.