

## Dimensionamento Hidráulico e Cálculos dos Sistemas de Drenagem

---

### 4. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E CÁLCULOS DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

#### 4.1. Sistema de Drenagem, Captação e Elevação de Lixiviados

O sistema de drenagem das águas de lixiviação do aterro é constituído por um sistema passivo de recolha – camada drenante, e por um sistema ativo – rede de drenagem, que se prolonga, através de um emissário, até à lagoa de regularização de lixiviados existente e desta para a ETAL existente.

Este sistema ao permitir a remoção dos lixiviados que se acumulam na base do aterro, reduz a carga hidráulica sobre o sistema de impermeabilização, contribuindo, portanto, para a minimização de fugas de lixiviados através do mesmo.

##### 4.1.1. Dimensionamento hidráulico dos drenos de lixiviados

A rede de coletores constitui o sistema de transporte dos lixiviados captados pela camada drenante e inclui coletores secundários, que captam os lixiviados das áreas que para eles confluem, e por um coletor principal, que recebe o lixiviados dos coletores secundários e os conduz aos poços de junção e daqui até ao sistema de bombagem para tratamento.

- Inclinação dos drenos: ..... 1,5 e 1,73% (inclinação da superfície do fundo: 2%);
- Diâmetro dos coletores (DN):
  - secundários: ..... 90 mm
  - principais: ..... 160 mm;
- Material: ..... PEAD, perfurado a meia-cana.

##### 4.1.2. Dimensionamento do sistema de bombagem

No âmbito do projeto de ampliação da célula C, procedeu-se a uma reconversão do sistema de drenagem, que deixou de ser um sistema por bombagem, a partir do interior da célula, para passar a ser um sistema gravítico até um poço de bombagem localizado no exterior da célula, de onde o lixiviado é enviado para lagoas de regularização.

O sistema de drenagem anterior comportava 2 (dois) poços de junção, PJC1 e PJC2, e 2 (duas) bombas, do tipo submersível, PC1 e PC2, que faziam bombagem direta dos lixiviados

## Dimensionamento Hidráulico e Cálculos dos Sistemas de Drenagem

---

do interior da célula para a lagoa de lixiviados existente, através de condutas de compressão em tubo flexível, adaptadas, numa das extremidades, a compressão das bombas e, na outra extremidade, a caixas de ligação, com válvulas.

No projeto de ampliação da célula C, suprimiram-se os 2 (dois) poços de juncão, PJC1 e PJC2, e as 2 (duas) bombas, PC1 e PC2, que estavam instaladas no interior dos poços de juncão e bombagem, e considerou-se a execução de ligações diretas, por meio de tubagem ranhurada, desde a rede de drenagem de lixiviado existente e a rede de novos drenos a instalar na zona de expansão, até a descarga gravítica de lixiviado para o exterior de célula.

O sistema de drenos do interior da célula interligará, através de conduta subterrânea, em PEAD DN250, PN16, envolvida em betão, com espessura de 20 cm, a um poço de bombagem implantado no exterior da célula, equipado com duas bombas submersíveis e válvulas de retenção e de seccionamento na compressão das bombas.

Na conduta subterrânea de interligação, imediatamente a montante do poço de bombagem, instalar-se-á uma válvula automática de seccionamento e uma válvula de seccionamento manual, dispostas em serie, tendo a primeira, por objetivo, a interrupção da descarga gravítica de lixiviado em caso de nível muito alto no poço de bombagem.

O poço de bombagem terá altura útil de 5,24 m e diâmetro interno de 2 m, permitindo uma banda de controlo, entre nível baixo (de paragem das bombas) e nível alto (de arranque das bombas) equivalente a 2,5 m<sup>3</sup> de lixiviado.

Os desenhos C-120-C-01, C-120-C-01-02 e C-120-C-03 mostram o sistema de drenagem e captação de águas lixiviantes da ampliação da célula C.

As bombas a usar no novo poço de bombagem (2x100%) deverão ser submersíveis, de eixo vertical, com corpo e impulsores em ferro fundido, veio em aço inox AISI 403, equipadas com camisa de arrefecimento, caudal nominal de 40 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica máxima 25 mca, incluindo pé de acoplamento rápido, guias e suporte de guias, corrente, quadro elétrico de comando e controlo, 3 (três) interruptores de nível do tipo boia e todos os acessórios.

A jusante do poço de bombagem e até a lagoa de lixiviados, desenvolver-se-á uma conduta elevatória enterrada, em PEAD DN125, PN10.

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

### 5. DIMENSIONAMENTO E CÁLCULO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL

#### 5.1. Considerações introdutórias

As obras hidráulicas destinaram-se a dar continuidade ao sistema de drenagem natural da zona intervencionada, impedindo que a mesma viesse a ser afetada por escorrências superficiais (desagregação e destruição) e, simultaneamente, reduzir a entrada de águas na área de deposição e a consequente minimização da produção de lixiviados.

As cotas de elevação consideradas para a requalificação e reencaminhamento da linha de água estão em conformidade com as cotas de elevação do terreno a montante, que, entretanto, serão sujeitas a modelação, e com as cotas de elevação do terreno a jusante da linha de água.

Os trabalhos de requalificação e reencaminhamento da linha de água envolvem a demolição da vala existente, nos seus trocos central, poente e nascente, e a demolição das passagens hidráulicas poente e nascente, seguidas da execução do novo reencaminhamento, em vala revestida a enrocamento (colchão “Reno”) e da execução de novas passagens hidráulicas nos trocos poente e nascente da linha de água reencaminhada.

O projeto de ampliação da célula C contempla, igualmente, a reformulação do sistema de drenagem de águas pluviais nas zonas intervencionadas, envolvendo o estabelecimento de novos órgãos de drenagem pluvial na zona da ampliação.

#### 5.2. Requalificação da Linha de Água

A requalificação da linha de água descrita foi objeto de um Projeto de Execução específico, que se apresenta separadamente, e da Autorização de Utilização de Recursos Hídricos – Construção n. A005332.2019.RH6, de 29-03-2019, que igualmente se anexa.

##### 5.2.1. Caudais de dimensionamento

###### 5.2.1.1. Método de cálculo

Para estimar os caudais de ponta de cheia, optou-se pela aplicação do método racional, atendendo às características e dimensões da bacia intercetada pela obra em estudo.

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

De acordo com esta formulação, o caudal de ponta ( $Q_p$ ) pode calcular-se através da seguinte relação:

$$Q_p = C \bar{i} A$$

em que  $C$  é o coeficiente de escoamento, adimensional,  $i$  a intensidade de precipitação média, correspondente à máxima precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia para o período de retorno pretendido, e  $A$  a área total da bacia.

O coeficiente de escoamento depende das características e condições de infiltração do solo, diminuindo a capacidade de infiltração à medida que a chuvada decorre e a sua humidade aumenta. O coeficiente de escoamento depende também da intensidade de precipitação, da proximidade do lençol freático, do grau de compactação do solo, da sua porosidade, do coberto vegetal, da tipologia de ocupação, do declive da bacia, do período de retorno e do caudal de cheia que se pretende estimar, entre os principais.

O valor do coeficiente de escoamento adotado foi obtido a partir da soma de três fatores considerados representativos do coberto vegetal, das características topográficas e das condições pedológicas da área da bacia em questão. Na situação em apreço, estes fatores apresentam condições tais que determinam para o coeficiente de escoamento o valor global de 0,5.

Para as áreas pavimentadas da instalação projetada foi considerado um coeficiente de escoamento de 0,9.

### 5.2.1.2. Período de retorno

O período de retorno associado à intensidade de precipitação deve ser escolhido em função do período de retorno da cheia de dimensionamento. No método racional supõe-se que a intensidade de precipitação de um dado período de retorno, afetada de um coeficiente de escoamento adequado, produz um caudal de ponta de cheia com o mesmo período de retorno. Para a linha de água que interessa ao projeto, o período de retorno adotado foi de 100 anos.

Para o dimensionamento dos elementos da rede de drenagem longitudinal e atendendo à dimensão do projeto em apreço é aceitável considerar-se um período de retorno de 10 anos.

### 5.2.1.3. Tempo de concentração

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

Embora não figure explicitamente na equação do método racional, o tempo de concentração está diretamente relacionado com a intensidade de precipitação, tornando-se assim um fator determinante no valor do caudal de ponta.

Para o cálculo do tempo de concentração de bacias hidrográficas existe um número elevado de expressões de variados autores, usualmente mediante equações empíricas. Na presente situação, consideraram-se as fórmulas de Giandotti, de Temez, de Ventura e de Torazza, verificando-se que, no geral, elas apresentam valores relativamente consistentes, o que conduziu a considerar um valor médio dos quatro obtidos por cada uma das formulações.

### 5.2.1.4. Precipitação de projeto

O valor da intensidade de precipitação para um dado período de retorno foi estimado a partir das curvas I-D-F definidas para Portugal Continental em Matos (1986). Estas curvas são do tipo exponencial e são dadas pela expressão seguinte:

$$I = a_1 \cdot t^{a_2} \quad (\text{mm/h})$$

onde:

- I - intensidade de precipitação para uma dada duração e determinado período de retorno (mm/h);
- t - duração da chuvada (min);
- $a_1, a_2$  - parâmetros que dependem do período de retorno.

Os parâmetros  $a_1$  e  $a_2$  têm os seguintes valores para a região em estudo e períodos de retorno de 10 e 100 anos:

$$T = 10 \text{ anos} \Rightarrow a_1 = 290,70 ; a_2 = - 0,549$$

$$T = 100 \text{ anos} \Rightarrow a_1 = 438,75 ; a_2 = - 0,508$$

Para o dimensionamento dos elementos da rede de drenagem longitudinal resulta a precipitação de 82,1 mm/h, de acordo com o atrás considerado e exposto, período de retorno de 10 anos e tempo de concentração de 10 minutos.

Caberá neste ponto referir que, para tempos de concentração reduzidos (como é o caso dos tempos de concentração da drenagem longitudinal), as curvas do tipo I-D-F apresentam valores mais gravosos para a intensidade de precipitação do que as funções do tipo

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

$I_m = a/(b+t)$ , também usadas neste tipo de cálculos. Assim as verificações feitas encontraram-se do lado da segurança, tomando como referência as funções  $I_m = a/(b+t)$ .

### 5.2.2. Função e descrição dos elementos da rede de drenagem

#### 5.2.2.1. Considerações introdutórias

A rede de drenagem projetada foi condicionada pelos seguintes aspetos:

- Existência de ponto de descarga de águas pluviais proveniente da plataforma das instalações de apoio descarregando para o interior da área ocupada pela célula C;
- Existência de pendente para o extradorso da via que margina, a Norte, a unidade de valorização de resíduos, o que determinou a necessidade de drenar o intradorso da via perimetral e não o extradorso, como nas restantes secções desta via.

#### 5.2.2.2. Coletores

Os coletores têm como função proporcionar a interligação de alguns órgãos de drenagem, bem como transportar e restituir os caudais coletados, constituindo assim a base da rede de drenagem.

#### 5.2.2.3. Valas de pé de talude

Para evitar a erosão dos taludes de aterro pelas águas escorridas de áreas vizinhas, essas águas serão intercetadas e conduzidas por valas de pé de talude.

As valas de pé de talude a executar serão em betão, de secção semicircular, com diâmetro igual a 400 mm.

O fio da vala de vera ficar a 1.0 metro da aresta teórica do talude (sem boleamento).

#### 5.2.2.4. Dissipação de energia

Sempre que determinado órgão hidráulico descarrega caudais em local onde se possa verificar a erosão do terreno pela ação das águas, este local de descarga será protegido colocando-se um órgão dissipador de energia no final do elemento descarregador.

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

Estão previstos dissipadores em enrocamento. Estes dissipadores permitem a receção e o amortecimento dos caudais descarregados com velocidades inferiores a 4,5 m/s, que é a presente situação, estando pormenorizados nos desenhos de projeto.

Na construção deste tipo de dissipadores deverá ter-se em conta que o enrocamento de pedra solta, devido à natureza dos solos locais, exige que seja assente numa camada de seixo ou betão pobre. A pedra do enrocamento não deve ser arredondada e deve ter pelo menos 50% de elementos de dimensões iguais ou superiores à indicada no desenho, mas não excedendo essa dimensão em mais de 30 % do seu valor.

O enrocamento de dissipação de energia à saída dos aquedutos é caracterizado no quadro de implantação dos mesmos, quadro incluído no respetivo desenho de dimensionamento geral.

### 5.2.2.5. *Caixas de visita correntes*

As caixas de visita têm como função possibilitar a inspeção e, eventualmente, a desobstrução do sistema de drenagem, proporcionando também as necessárias ligações do sistema.

Normalmente não se excede a distância de 75 m entre caixas de visita e limpeza.

As caixas de visita a colocar na valeta de betão poderão possuir tampa sumidoura. Neste caso, a caixa (sumidoura) é sempre dotada de coletor e é permitida a transferência dos caudais da valeta para o coletor. A caixa sumidoura é implantada quando os caudais de dimensionamento, face à capacidade da valeta, o determinam, quando o perfil longitudinal da valeta o exige, ou quando é aconselhável por outros motivos a sua descarga.

Consideraram-se caixas de visita de secção quadrangular, com dimensões de 0,5x0,5 m<sup>2</sup>, 0,75x0,75 m<sup>2</sup> e 1,0x1,0 m<sup>2</sup>. O corpo da caixa é constituído por elementos pré-fabricados, sendo a sua base betonada no local com a espessura de 0,10 m. A tampa da caixa, em betão, será perfurada no caso de caixa sumidoura.

### 5.2.2.1. *Bocas de entrada e saída em aterro*

As bocas de entrada e saída em aterro dos aquedutos visam proporcionar uma eficaz condução dos caudais a montante e jusante dos aquedutos, conferindo-lhes a forma mais favorável ao escoamento.

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

As bocas são em betão, sendo constituídas, para além da sua laje de fundo, por um dente de amarração ao terreno e muros de ala e de testa, ambos armados com malha de aço.

### 5.2.2.2. Desvio da linha de água

Para o reencaminhamento da linha de água foi previsto um canal de secção trapezoidal revestido a tapete tipo “RENO”. A secção deste canal está pormenorizada nos desenhos de pormenor.

### 5.2.2.1. Drenos

Os drenos destinam-se a recolher as águas que se infiltram através das terras de cobertura da área de aterro, após selagem das células, e encaminhá-las para o exterior da zona de intervenção.

### 5.2.2.2. Drenos de banqueteta

Para recolha e condução das águas provenientes das banquetetas e dos taludes adjacentes após a selagem, foram previstos drenos de banqueteta, a estabelecer no pé do talude adjacente superior, constituídos, conforme pormenor de projeto, por material granular (brita 10-15), envolvido em geotêxtil de 220g/m<sup>2</sup>.

Os drenos de banqueteta captam as águas que escorrem pelo talude e conduzem-nas a caixas em betão que integram os esporões drenantes a estabelecer nas descidas de talude.

## 5.2.3. Dimensionamento dos elementos da rede de drenagem da fase de instalação (aterro)

### 5.2.3.1. Coletores

A determinação da capacidade de transporte dos coletores, para um escoamento em superfície livre, foi feita usando a equação de Manning-Strickler:

$$Q = K_s S R_h^{2/3} i^{1/2}$$

onde:

Q - caudal (m<sup>3</sup>/s);

K<sub>s</sub> - coeficiente de rugosidade de Manning;

R<sub>h</sub> - raio hidráulico da secção molhada (m);



## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

i - inclinação do órgão de condução (m/m);  
S - secção molhada (m<sup>2</sup>).

Os coeficientes de rugosidade de Manning adotados foram de  $K_s=75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  e  $K_s=100 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , valores característicos para tubos em betão e plástico, respetivamente.

Na Tabela VIII apresenta-se o funcionamento hidráulico da rede de coletores prevista para a fase de instalação.

Tabela VIII. Funcionamento hidráulico da rede de coletores

Troço	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diâmetro nominal (mm)	V (m/s)	h/D	Rh/D	Tensão Arrast. (N/m <sup>2</sup> )
CVS3 – Descarga	0,070	500	0,4	0,03	0,017	1,2
CVS4 – Descarga	0,100	400	0,8	0,05	0,032	4,7

De referir que os coletores que efetuam a restituição das caixas de visita sumidouras CVS3 e CVS4 foram dimensionados para o caudal global a descarregar após a selagem do aterro.

### 5.2.3.2. Valetas

Ao longo da área de intervenção foram analisadas e determinadas as áreas contribuintes para os diversos órgãos hidráulicos, afetadas do seu respetivo coeficiente de escoamento, por forma a obter-se o caudal a escoar para a intensidade de precipitação de projeto. Este caudal foi posteriormente comparado com a capacidade de transporte do elemento em estudo, com base na equação de Manning-Strickler, para um coeficiente de  $75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (betão).

Para o presente projeto consideraram-se valetas com perfil triangular, com dois tipos de dimensões: abertura de 0,50 m e altura de 0,10 m, abertura de 0,75 m e altura de 0,15 m.

### 5.2.3.3. Vala de desvio da linha de água

A vala tem secção trapezoidal e está revestida a “colchões Reno”.

## Dimensionamento Cálculos dos Sistemas de Drenagem Pluvial

---

### 5.2.4. Dimensionamento dos elementos de drenagem da fase de selagem (aterro)

Após selagem, será instalada uma rede de drenagem superficial, que garantirá a condução ao exterior da zona das águas pluviais ali caídas, e um sistema de captação e condução das águas que se infiltram e são retidas pela geomembrana de selagem.

A rede de drenagem superficial será constituída por drenos de banqueteta, caixas de mudança de direção e passagem e descidas de talude.

As valetas de banqueteta destinam-se a captar e conduzir as águas provenientes das banquetetas e dos taludes adjacentes até as caixas de mudança de direção e passagem, que por sua vez as descarregam através de descidas de talude para a rede dos níveis sucessivamente inferiores até a valeta perimetral.

Para os taludes de aterro, consideram-se descidas de água em betão, com secção semicircular de diâmetro interno de 700 mm.

As caixas de mudança de direção e passagem terão secção quadrangular, com dimensões de 0,50 m x 0,50 m e 0,75 m x 0,75 m.

As águas que se infiltram através do perfil de selagem são conduzidas pela camada drenante até ao dreno-coletor, sendo conduzidas por este até aos pontos de restituição.

A restituição ao meio será efetuada através de dois elementos já construídos, as caixas CVS3 e CVS4 e respetivas bocas de descarga.

Os caudais totais nos pontos de descarga CVS3 e CVS4 são de 0,45 m<sup>3</sup>/s e 0,42 m<sup>3</sup>/s, respetivamente.

#### 5.2.4.1. *Descidas de água em taludes*

A condução dos caudais coletados, quando executada sobre os taludes de aterro (na fase de selagem) é realizada através de descida de água em taludes.

As descidas de água em taludes são realizadas através de esporões drenantes, constituídos, conforme pormenor de projeto, por brita 10-15 e por enrocamento, colocados, em sequência longitudinal, sobre duas camadas de geotêxtil de 300 g/m<sup>2</sup>; a continuidade do escoamento do esporão drenante sob a banqueteta de transição é assegurada por tubo corrugado DN500 colocado sob as camadas de sub-base (material granular) e base (toutvenant) da banqueteta.