Projeto de Valorização e Reabilitação do Troço do Ribeiro do Caneiro

Memória Descritiva

Prestação de serviços para a LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Versão novembro 2022

Índice

1. Introdução 1
1.1. Âmbito e objetivos 1
1.2. Dados de base 2
1.3. Equipa técnica 3
2. Caracterização da área de estudo 3
3. Estudo hidrológico e hidráulico 7
3.1. Estudo hidrológico 7
3.1.1. Aplicação da fórmula racional 8
3.1.2. Aplicação da fórmula do Soil Conservation Service (S.C.S) 9
3.1.3. Caudais de projeto 10
3.2. Estudo hidráulico da situação atual 10
3.2.1. Modelação Hidráulica 12
3.2.2. Resultados 13
3.3. Estudo hidráulico da situação de projeto 16
3.3.1. Condições base do projeto 16
3.3.2. Resultados da modelação hidráulica 22
3.4. Conclusões 27
4. Detalhes construtivos 28
4.1. Estabilização e impermeabilização do leito e margens do canal 28
4.2. Micro-açude 29
5. Prazo de Execução 30
Lista de Anexos 31

1. Introdução

1.1. Âmbito e objetivos

O presente documento corresponde à Memória Descritiva do projeto de execução de valorização e reabilitação de um troço do ribeiro do Caneiro junto aos terrenos da LIPOR, em Baguim do Monte.

O Projeto de Execução aqui apresentado tem como objetivo a valorização do ribeiro do Caneiro, no que se refere aos aspetos hidráulicos, paisagísticos e ecológicos, dentro da área do domínio publico hídrico (canal e 10 metros de largura em cada margem da ribeira). Este objetivo será concretizado através da reabilitação dos diferentes troços, na qual se inclui o desvio de um troço do ribeiro, de modo a permitir a implantação de uma nova unidade de tratamento de resíduos adjacentes à já existente.

O Projeto de Execução incluiu a elaboração de um estudo hidrológico e hidráulico para análise das condições de vazão da linha de água na situação atual e na situação prevista após o projeto, para avaliação do impacto dessa intervenção nas cotas e nas áreas de inundação, e também para definição da geometria do canal ao longo do troço global a intervencionar, de modo a evitar a inundação dos terrenos marginais para cheias com um período de retorno de até 100 anos.

Nesta memória descritiva descrevem-se também alguns detalhes construtivos das intervenções a realizar no troço do ribeiro, nomeadamente do revestimento e proteção das margens e do micro-açude a construir para promover a criação de um charco ecológico.

Na Figura 1 identificam-se, de forma aproximada, os troços fluviais considerados no âmbito deste projeto:

i) a vermelho, o troço fluvial atual, a desviar, com cerca de 515 m de comprimento (380 da linha de água principal e 135 de um afluente);

ii) a azul-claro, o traçado do desvio proposto (cerca de 390 m);

iii) a verde, os troços adjacentes da ribeira a reabilitar (cerca de 175 m a montante e 290 m a jusante).

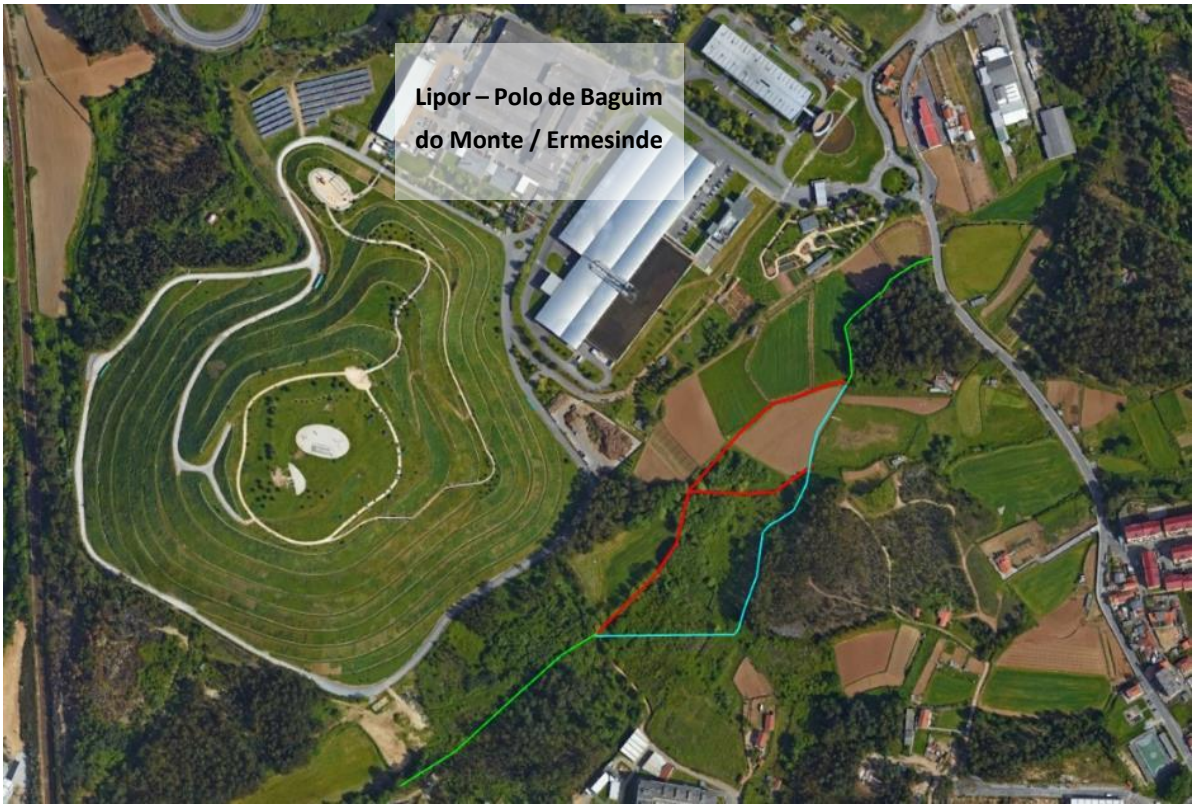


Figura 1. *Representação dos troços fluviais a considerar no estudo: a vermelho – troços a desviar; a azul claro – desvio proposto; verde – troços a reabilitar (fonte: Google Earth Pro).*

1.2. Dados de base

A elaboração do presente projeto de execução teve por base os elementos / informações constantes nos ficheiros fornecidos pela LIPOR, nomeadamente:

- Levantamento topográfico da zona de estudo e das secções transversais ("*PedidoFEUP_LIPOR1.dwg"*);
- Informação sobre as passagens hidráulicas existentes na zona de estudo ("*Passagens_Hidraulicas.pdf*")
- Informação geográfica sobre as parcelas do terreno da zona de estudo pertencentes à LIPOR e a outros proprietários ("*Complemento-ZonaNascente_BaguimMONTE.dwg"*; "*Des1_1-2000_Síntese_2020-09-11.pdf*");
- Desenho e informação geográfica sobre a implementação futura dos novos complexos da LIPOR ("*Layout.pdf*");
- Traçado de possíveis novos arruamentos a realizar nas imediações da área em estudo ("*Ligação_Lipor_EN15-Layout1.pdf*"; "*Novo Arruamento Lipor 23_09_2021.jpg*").

1.3. Equipa técnica

A entidade responsável pelo projeto aqui apresentado foi a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), que contou com a seguinte equipa técnica para a sua elaboração:

- Rodrigo Maia (Professor Associado - FEUP), Coordenação.
- Miguel Costa (Eng.º do Ambiente - FEUP)
- Juliana Mendes (Dr.ª Eng. ª Civil – FEUP)
- Mahdi Alemi (Dr. Eng.º Civil – FEUP), colaboração na modelação hidráulica 2D.

2. Caracterização da área de estudo

A área em estudo localiza-se a sudeste do terreno da LIPOR, em Baguim do Monte. A distâncias de aproximadamente 30 a 100 m da delimitação atual desse terreno, encontra-se o troço fluvial que é o objeto deste projeto, que tem um declive médio de 2% e é composto por duas linhas de água (Figura 2):

i) um troço do ribeiro do Caneiro (linha de água principal), com uma extensão de cerca de 845 m e,

ii) um troço da linha de água afluente ao ribeiro, na margem esquerda, com uma extensão de cerca de 195 m.

Conforme apresentado na Figura 2, os troços das linhas de água em estudo apresentam entubamentos: dois no troço principal e um no afluente. Os dois troços assinalados de menor dimensão correspondem a passagens hidráulicas.

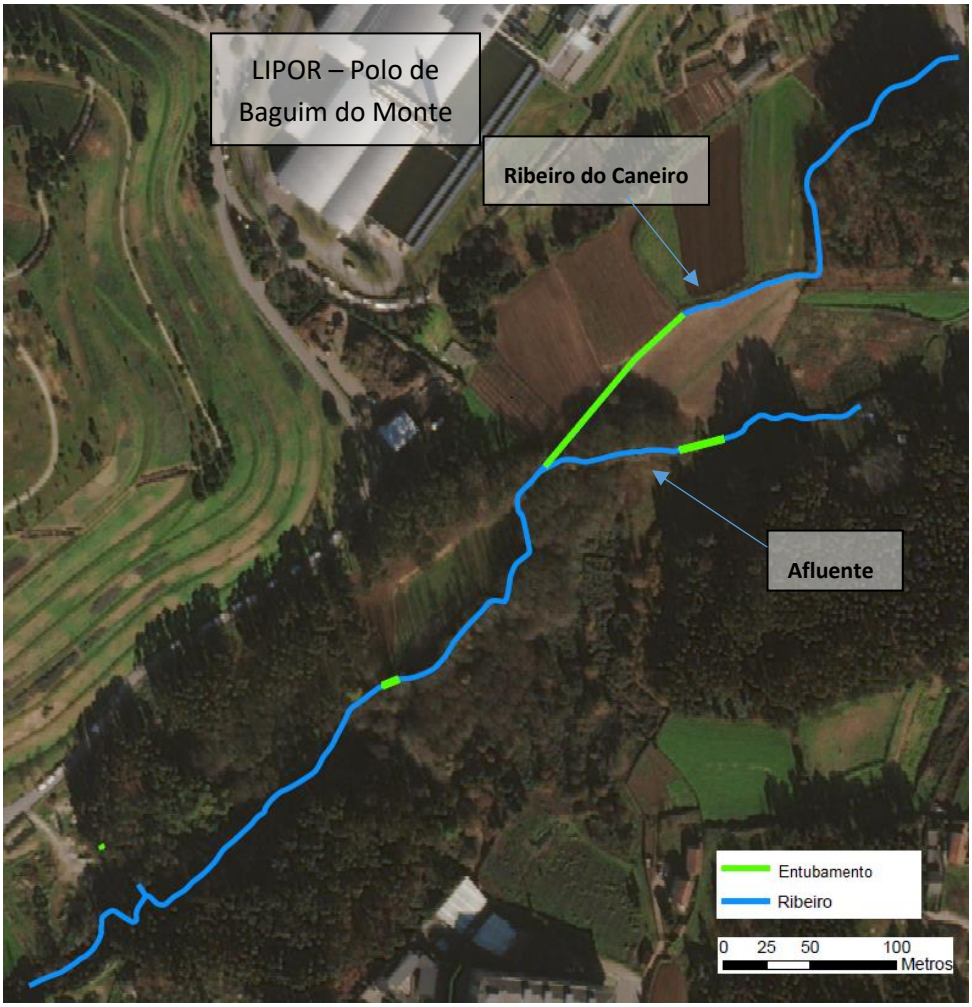


Figura 2. *Traçado do troço fluvial atual objeto deste projeto, com a identificação dos troços entubados existentes.*

A análise inicial do troço em estudo foi realizada considerado a divisão do mesmo em três partes:

1) troço de montante (troço principal até à saída do entubamento / confluência com o afluente);

2) troço do afluente ao ribeiro;

3) troço de jusante (troço principal após a confluência).

Como foi possível constatar na visita realizada ao local e também como é possível verificar nas Figuras 1 e 2, os terrenos marginais aos troços de montante e do afluente têm sobretudo uma utilização agrícola (Figuras 3 e 4), enquanto no troço de jusante predominam zonas com matos e árvores de média e grande dimensão, aparentemente ao abandono (Figura 5).



***Figura 3**. Terrenos agrícolas marginais ao ribeiro, no troço de montante (fonte: LIPOR).*



***Figura 4**. Cultivo de milho nos terrenos marginais ao troço de montante (fonte: LIPOR).*



***Figura 5**. Entubamento/passagem hidráulica no troço de jusante (fonte: LIPOR).*

Através do levantamento topográfico fornecido pela LIPOR, pode constatar-se que na área compreendida entre as duas linhas de água a montante da confluência (na zona entre a margem esquerda do troço de montante, após a curva do curso principal do ribeiro, e a margem direita do afluente), as cotas do terreno transversalmente às duas linhas de água são muito semelhantes. Tal facto permite depreender que, ao longo dos tempos, possam ter existido já nesta zona várias alterações no traçado do ribeiro, de acordo com o uso mais conveniente em determinada época, nomeadamente para o transporte de água para rega dos terrenos agrícolas marginais e ou alimentação de engenhos hidráulicos, como o que existiu a jusante do maior entubamento, no troço de montante, que, entretanto, se encontra em ruínas.

Ainda no levantamento topográfico, através da identificação de caixas de visita de saneamento, constatou-se a existência de um coletor / emissário ao longo da linha de água afluente, com continuidade ao longo do troço principal, após a confluência destes. O traçado implícito do coletor atravessa atualmente a linha de água junto à confluência, da margem esquerda do afluente para a margem direita do troço principal. Na situação configurada neste projeto, o troço desviado da linha de água cruzará com essa infraestrutura imediatamente a jusante da nova confluência. Como tal, será necessária uma reformulação do traçado dessa infraestrutura, situação já prevista antecipadamente pela LIPOR, uma vez que a mesma atravessa também uma parte do terreno previsto para implantação dos novos edifícios.

O troço em estudo recebe o escoamento de duas bacias de drenagem: no troço de montante (do ribeiro do Caneiro) e do troço do afluente. Assim, no estudo hidrológico realizado, as respetivas bacias de drenagem denominaram-se de “Bacia de montante” e “Bacia do afluente ao ribeiro do Caneiro” (Figura 6).

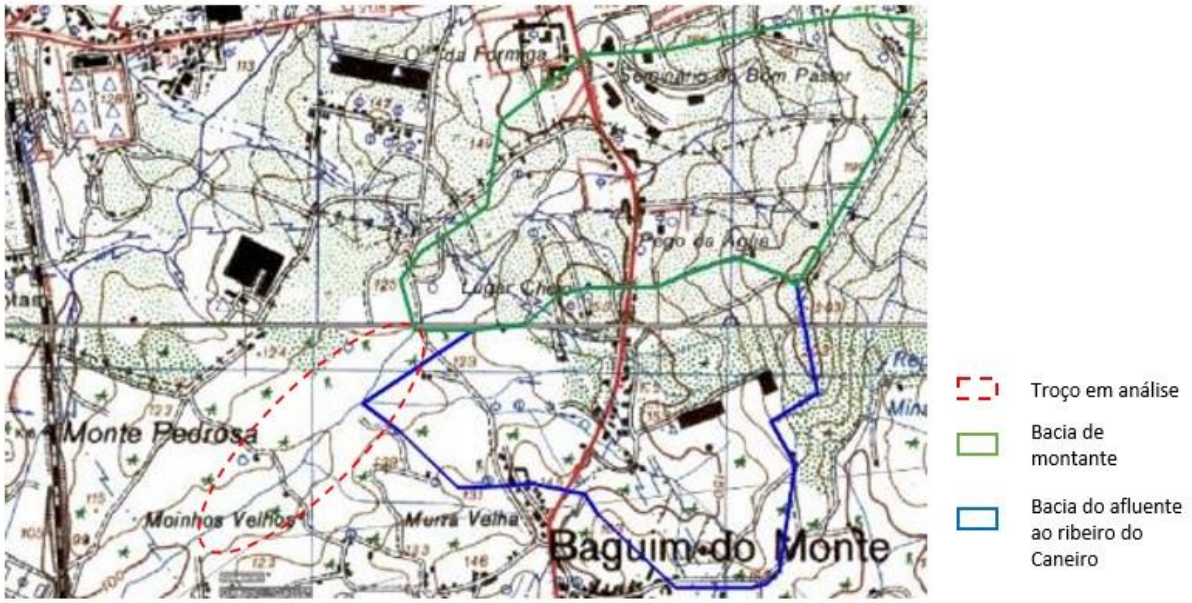


Figura 6. *Delimitação da zona de intervenção e das bacias afluentes à respetiva zona de estudo.*

Ambas as bacias afluentes à zona de estudo são medianamente declivosas (cerca de 8% de inclinação). A bacia de montante possui uma área de 0,54 km^2, tendo uma altitude média de 170 m. Nesta, a linha de água principal do ribeiro tem uma extensão de cerca de 1,26 km. Por sua vez, a bacia do afluente ao ribeiro do Caneiro tem uma área de 0,52 km^2 e uma altitude média de 160 m, tendo o curso principal de água uma extensão de 0,92 km.

3. Estudo hidrológico e hidráulico

3.1. Estudo hidrológico

O estudo hidrológico envolveu a estimativa dos caudais de ponta de cheia afluentes aos troços de estudo (troço de montante, troço do afluente e troço de jusante). Esta estimativa foi realizada para 4 períodos de retorno (T): 5, 10, 50 e 100 anos.

Uma vez que na zona de estudo, bem como nas suas imediações, não existem registos hidrométricos (quer em termos de valores máximos anuais bem como de valores contínuos), não foi possível realizar uma análise estatística para determinação dos caudais de cheia considerados.

Desta forma, foram considerados dois métodos para estimar os caudais de cheia para cada um dos períodos de retorno considerados: método da fórmula racional; método da fórmula do *Soil Conservation Service* (S.C.S). Estas duas fórmulas foram aplicadas às bacias afluente ao troço do ribeiro em análise (Figura 6).

Para a aplicação destes dois métodos foi necessário em primeiro lugar determinar, para cada uma das bacias afluentes: i) tempo de concentração e ii) intensidade de precipitação.

i) Tempo de concentração

O tempo de concentração de cada uma das duas bacias afluentes à zona de intervenção foi determinado recorrendo à fórmula de *Giandotti* [1]:

$$t_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1{,}5 * L}{0{,}80 * \sqrt{H}} \quad \textbf{[1]}$$

onde: $\mathbf{t_c}$ é o tempo de concentração em horas; **A** é a área da bacia hidrográfica em km^2; **L** o comprimento do rio principal; **H** a altitude média da bacia em metros.

Da aplicação da respetiva fórmula resultou um tempo de concentração de 0,46 h na bacia de montante e de 0,42 h na bacia do afluente ao ribeiro.

ii) Intensidade de precipitação

A intensidade de precipitação em cada uma das bacias afluentes foi determinada através das curvas intensidade/duração/frequência (fórmula [2]) definidas no Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto (DR 23/95):

$$I = a * t^b \quad \textbf{[2]}$$

onde: **I** é a intensidade de precipitação, em mm/h; **t** o tempo da chuvada, em minutos; **a** e **b** parâmetros que dependem da região do país e dos períodos de retorno a considerar.

O tempo de chuvada correspondeu ao tempo de concentração, sendo que se adotaram os valores correspondentes indicados para a Região Pluviométrica A (definido no DR 23/95) para os parâmetros **a** e **b**.

A Tabela 1 explicita a intensidade de precipitação em cada uma das bacias afluentes à zona de estudo, considerandos os diferentes períodos de retorno.

Tabela 1. *Intensidade de precipitação para T igual a 5, 10, 50 e 100 anos, em cada uma das bacias afluentes ao ribeiro do Caneiro.*

Bacia	**I (mm/h)**			
	T = 5 anos	**T = 10 anos**	**T = 50 anos**	**T = 100 anos**
Montante	40,09	46,86	61,32	67,64
Afluente ao ribeiro do Caneiro	42,18	49,25	64,30	70,83

3.1.1. Aplicação da fórmula racional

Recorrendo à fórmula racional, o valor do caudal de ponta é calculado através da fórmula [3]:

$$Q_p = C * I * A \quad \textbf{[3]}$$

Onde: $\mathbf{Q_p}$ corresponde ao caudal de ponta (m^3/s); **I** corresponde à intensidade de precipitação (m/s); **A** à área da bacia em m^2; **C** corresponde ao coeficiente de escoamento (adimensional).

O valor de C traduz a percentagem da água proveniente da precipitação que efetivamente passa pela secção de escoamento em análise. Considerando a zona do ribeiro do Caneiro como sendo uma zona não urbana de pastagem, os valores de C atribuídos foram de: 0,40 (T = 5 anos); 0,42 (T = 10 anos); 0,49 (T= 50 anos) e 0,53 (T = 100 anos). Estes valores foram atribuídos de acordo com "*Chow et al. (1988): Applyed Hydrology*".

Através da aplicação da fórmula racional obtiveram-se os seguintes caudais para os períodos de retorno considerados (Tabela 2).

Tabela 2. *Caudais de cheia para períodos de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos em cada uma das bacias afluentes ao ribeiro do Caneiro, através do método da fórmula racional.*

Bacia	**Q_p (m^3/s)**			
	T = 5 anos	**T = 10 anos**	**T = 50 anos**	**T = 100 anos**
Montante	2,38	2,93	4,47	5,33
Afluente ao ribeiro do Caneiro	2,51	3,08	4,69	5,58

3.1.2. Aplicação da fórmula do Soil Conservation Service (S.C.S)

A fórmula de cálculo do caudal de cheia proposto pelo método S.C.S, dos Estados Unidos da América é a seguinte [4]:

$$Q_p = \frac{0{,}277 * k * A * h_u}{t_p} \quad \textbf{[4]}$$

onde: $\mathbf{Q_p}$ corresponde ao caudal de cheia (m^3/s); **k** corresponde ao fator de ponta, que para bacias medianamente declivosas assume o valor de 0,75; **A** corresponde à área da bacia (km^2); $\mathbf{h_u}$ corresponde à altura de precipitação útil (mm); $\mathbf{t_p}$ corresponde ao tempo para a ponta de cheia (h)

O tempo de ponta de cheia foi determinado através da aplicação da fórmula [5]:

$$t_p = 0{,}5 * t_r + 0{,}6 * t_c \quad \textbf{[5]}$$

Na fórmula [5], $\mathbf{t_r}$ corresponde à duração da chuvada (h), sendo igual ao tempo de concentração. Assim, através da aplicação da respetiva fórmula obteve-se um tempo de ponta de cheia de 0,51 h e 0,46 h para a bacia de montante e do afluente ao ribeiro do Caneiro, respetivamente.

A Tabela 3 apresenta os valores dos caudais de cheias determinadas através da fórmula S.C.S.

Tabela 3. *Caudais de cheia para períodos de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos em cada uma das bacias afluentes ao ribeiro do Caneiro, através do método da fórmula S.C.S.*

Bacia	**Q_p (m^3/s)**			
	T = 5 anos	**T = 10 anos**	**T = 50 anos**	**T = 100 anos**
Montante	3,24	3,79	4,96	5,47
Afluente do ribeiro do Caneiro	3,32	3,88	5,06	5,58

3.1.3. Caudais de projeto

Considerando os caudais de cheia para um período de retorno de 100 anos definidos pelos dois métodos anteriormente descritos, verifica-se que os valores obtidos são muito similares entre si, sendo inclusive iguais para a bacia do afluente do ribeiro do Caneiro. Assim, os caudais obtidos pela fórmula racional (Tabela 2) foram considerados no prosseguimento do estudo.

O caudal que se escoa no troço do ribeiro a jusante da confluência (troço de jusante) corresponde à soma dos caudais dos dois troços a montante.

3.2. Estudo hidráulico da situação atual

Neste ponto apresenta-se a caracterização do escoamento no ribeiro do Caneiro na situação atual. Para tal, foi necessário a construção do modelo hidráulico para simulação do escoamento.

A construção do respetivo modelo hidráulico obrigou à realização de uma série de tarefas de obtenção, preparação e fixação de dados a fornecer ao modelo, para a sua caracterização física e hidráulica.

A caracterização física do modelo de escoamento para representação da situação atual teve como base a definição do perfil longitudinal do ribeiro e das 104 secções transversais definidas ao longo do mesmo. Na Figura 7 (Anexo B – Peça Desenhada EH 1) representam-se as secções transversais consideradas, bem como o traçado dos troços das linhas de água em estudo, estando essa informação sobre a imagem de satélite da zona em estudo, e acompanhada das parcelas de terreno identificadas pela LIPOR, para melhor referenciação das mesmas.

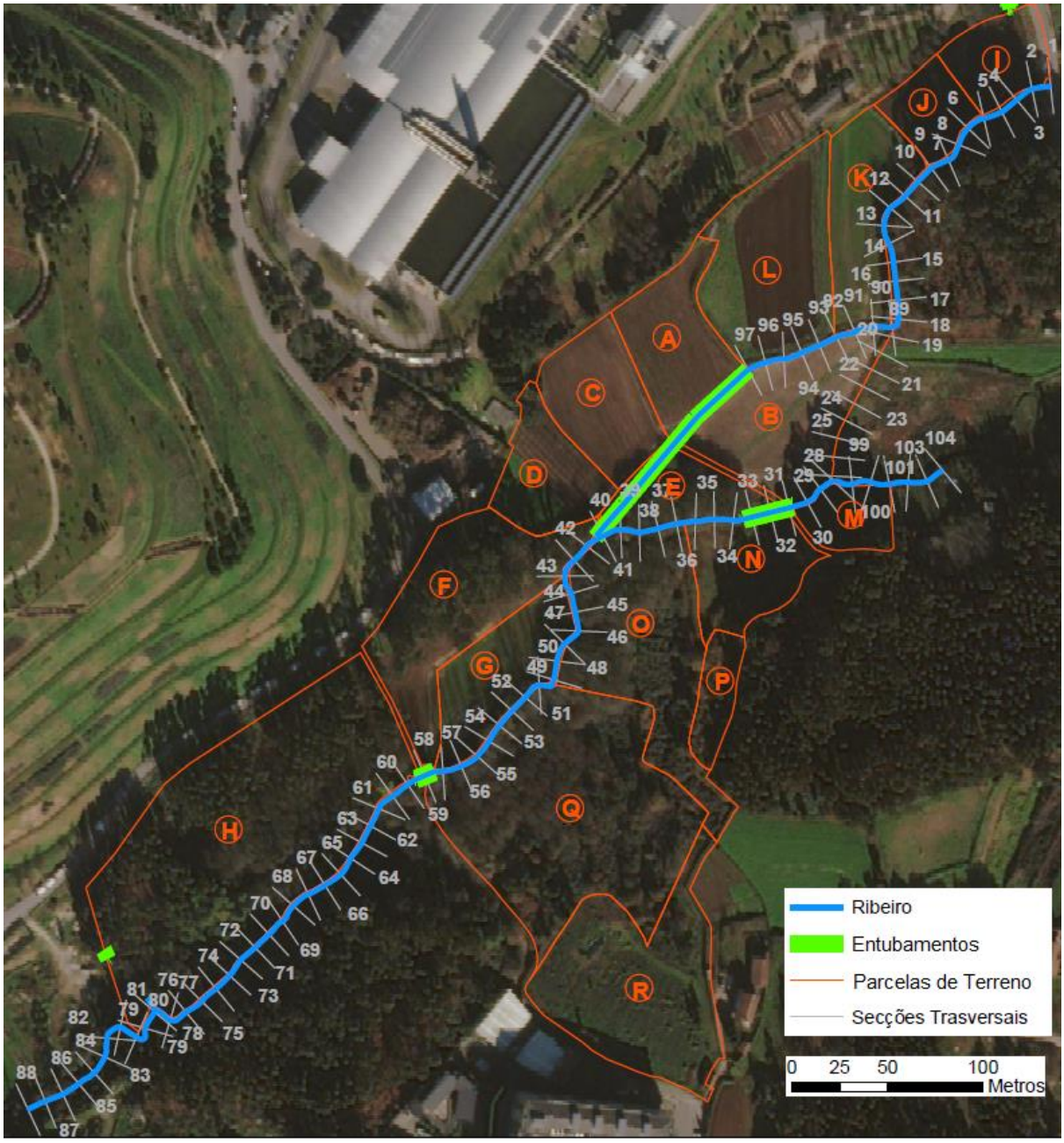


***Figura 7**. Planta de Implantação geral da situação atual*

Conforme referido em 2., para efeitos deste estudo, a zona de intervenção foi dividida em 3 partes, sendo cada uma delas delimitadas pelas seguintes seções: troço de montante (Secções 1 – 18 e 90 – 97); troço do afluente ao ribeiro (Secções 28 – 40 e 99 - 104); troço de jusante de jusante (41 – 88).

A Figura 8 representa o Modelo Digital do Terreno (MDT) gerado com base no levamento topográfico fornecido pela LIPOR. O mesmo possui uma resolução de 0,2 m, quer na horizontal, quer na vertical. Esta informação foi obtida através do levantamento topográfico da zona de intervenção e das secções transversais ao ribeiro, ambos fornecidos pela LIPOR. De referir que ao longo deste trabalho o sistema de coordenadas geográficas adotado foi o ETRS 1989 Portugal TM06.

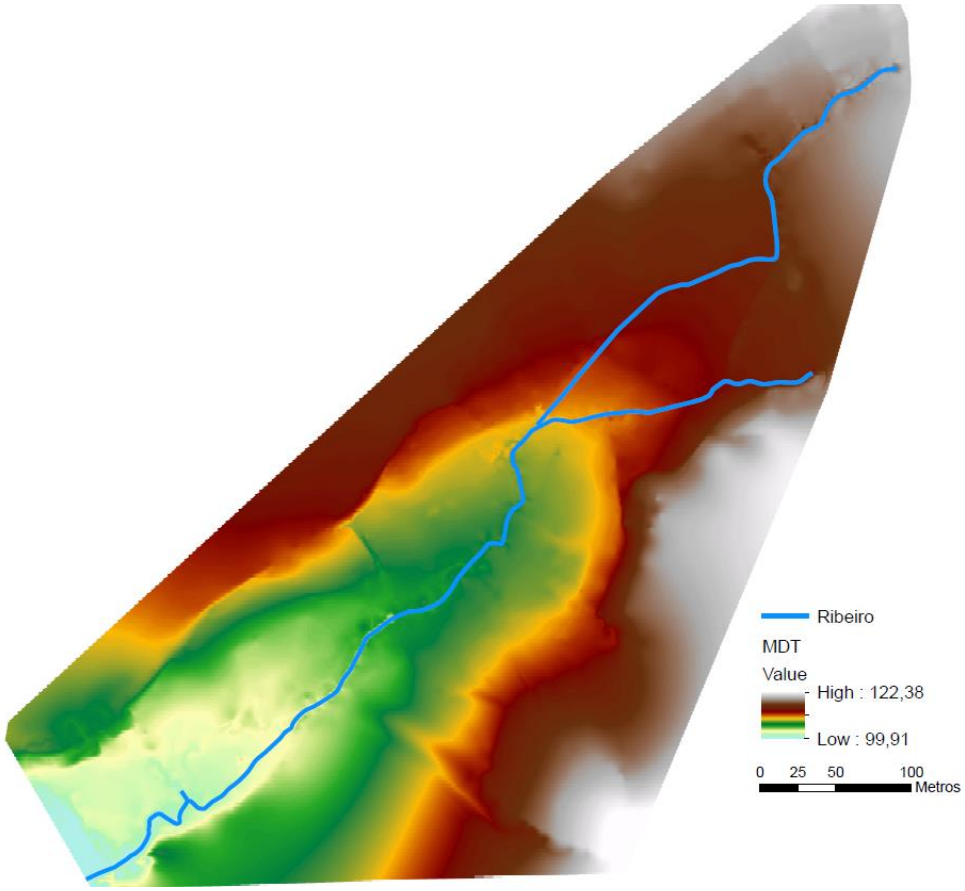


***Figura 8**. Modelo Digital do Terreno da zona de intervenção, na situação atual.*

3.2.1. Modelação Hidráulica

Numa primeira análise, tentou-se elaborar um modelo hidráulico 1D da zona de análise, com recurso ao software HEC-RAS. No entanto, após efetuar a simulação, constatou-se que o modelo hidráulico 1D não é o mais adequado para efetuar a simulação da situação atual. Tal deve-se ao facto de em situação de cheia, na zona compreendida entre a margem esquerda do troço de montante do ribeiro antes do entubamento (seções 90 – 97) e a margem direita do troço do afluente (secções 28 – 31 e 99 – 104), ambas as linhas de água extravasarem e o escoamento de uma interferir com o escoamento da outra, havendo um comportamento bidimensional do escoamento nessa zona, o qual o modelo 1D não consegue representar corretamente, nomeadamente no que se refere à compatibilização das alturas de inundação.

Consequentemente resultou a necessidade de se proceder ao desenvolvimento de um modelo hidráulico 2D. O modelo hidráulico selecionado foi o modelo IBER. Este trata-se de um modelo numérico bidimensional, que tem como base o MDT e a definição das condições-fronteira e dos coeficientes de *Manning*.

As condições-fronteira para cada um dos troços correspondeu ao caudal a escoar ao longo dos mesmos, tendo os coeficientes de *Manning* adotados sido igual a 0,05 $m^{-1/3}/s$.

3.2.2. Resultados

Nas Figura 9 e 10 (Anexo B – Peças Desenhadas EH 2.1 e 2.4) são apresentados, respetivamente, os mapas de inundação correspondente ao caudal de cheia de 5 e 100 anos, com as alturas de água correspondentes. Os mapas de inundação para os restantes períodos de retorno considerados são apresentados no Anexo B – Peças Desenhadas EH 2.2 a EH 2.3.

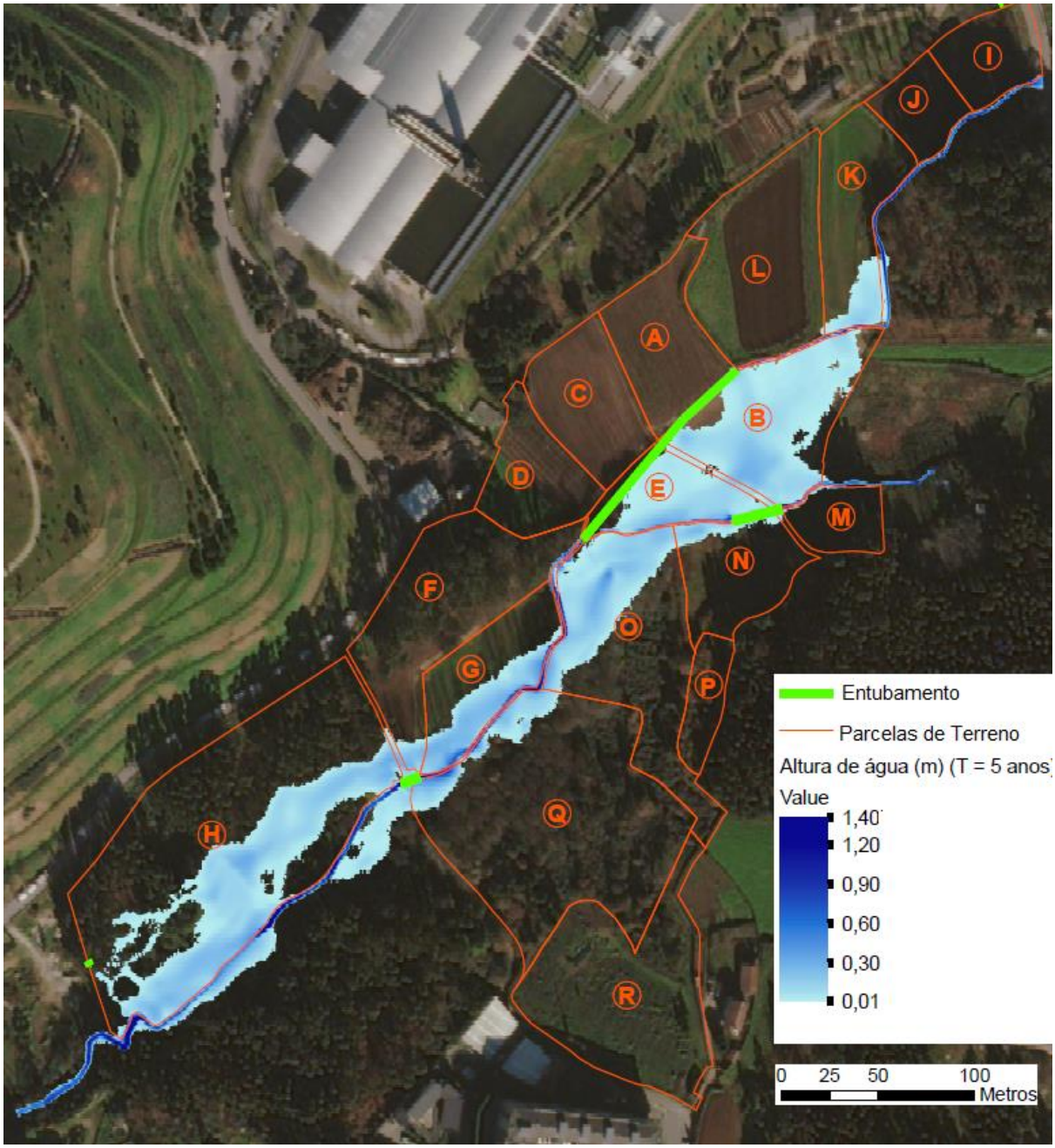


Figura 9. *Mapa de inundação na situação atual, considerando um período de retorno de 5 anos.*

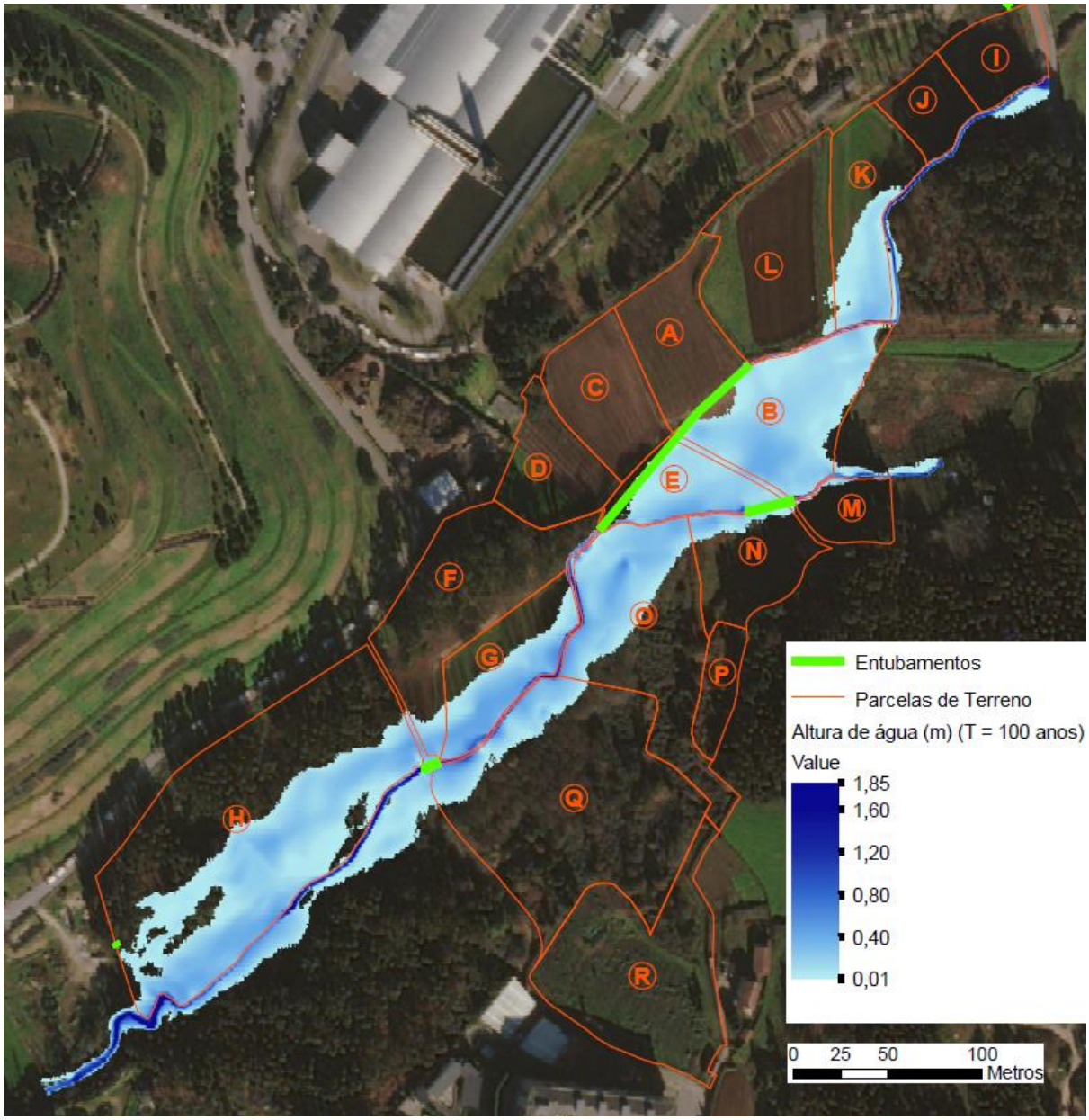


Figura 10. *Mapa de inundação na situação atual, considerando um período de retorno de 100 anos.*

As alturas máximas de água obtidas através da modelação hidráulica, considerando os caudais de cheia de 5 e 100 anos, verificam-se na zona final do troço em estudo, variando respetivamente entre 1,40 m e 1,85 m,

Para o período de retorno mais baixo (T = 5 anos), verifica-se já existência de inundação nos terrenos marginais na maioria da extensão do troço analisado, à exceção da parte inicial do troço, onde a geometria atual do ribeiro consegue conter a totalidade do escoamento correspondente.

Para períodos de retornos maiores (a partir de 50 anos) começa a existir também inundação dos terrenos marginais no troço inicial, nomeadamente na margem esquerda.

As parcelas com maior área inundada são as parcelas B, E, G, H e O, identificadas. Para o período de retorno de 100 anos, a altura de água nos terrenos marginais ao canal é de cerca de 0,40 m. Excetuando o canal do ribeiro, verifica-se que as alturas de água nos terrenos adjacentes são

superiores no troço a jusante. Conforme anteriormente referido, nas parcelas de terreno B e E a inundação ocorrida é causada pelos caudais dos troços de montante e o do afluente.

De realçar que em situação de cheia, os entubamentos no troço do afluente ao ribeiro e no troço de jusante não conseguem escoar a totalidade do escoamento para o seu interior, havendo extravasamento.

Relativamente às velocidades de escoamento, apresenta-se na Figura 11 (Anexo B – Peças Desenhada EH 3.4) o mapa de inundação com a distribuição dessa variável, para o caudal de cheia de 100 anos. Os mapas correspondentes para os restantes períodos de retorno considerados são apresentados no Anexo B – Peças Desenhadas EH 3.1 a EH 3.3.

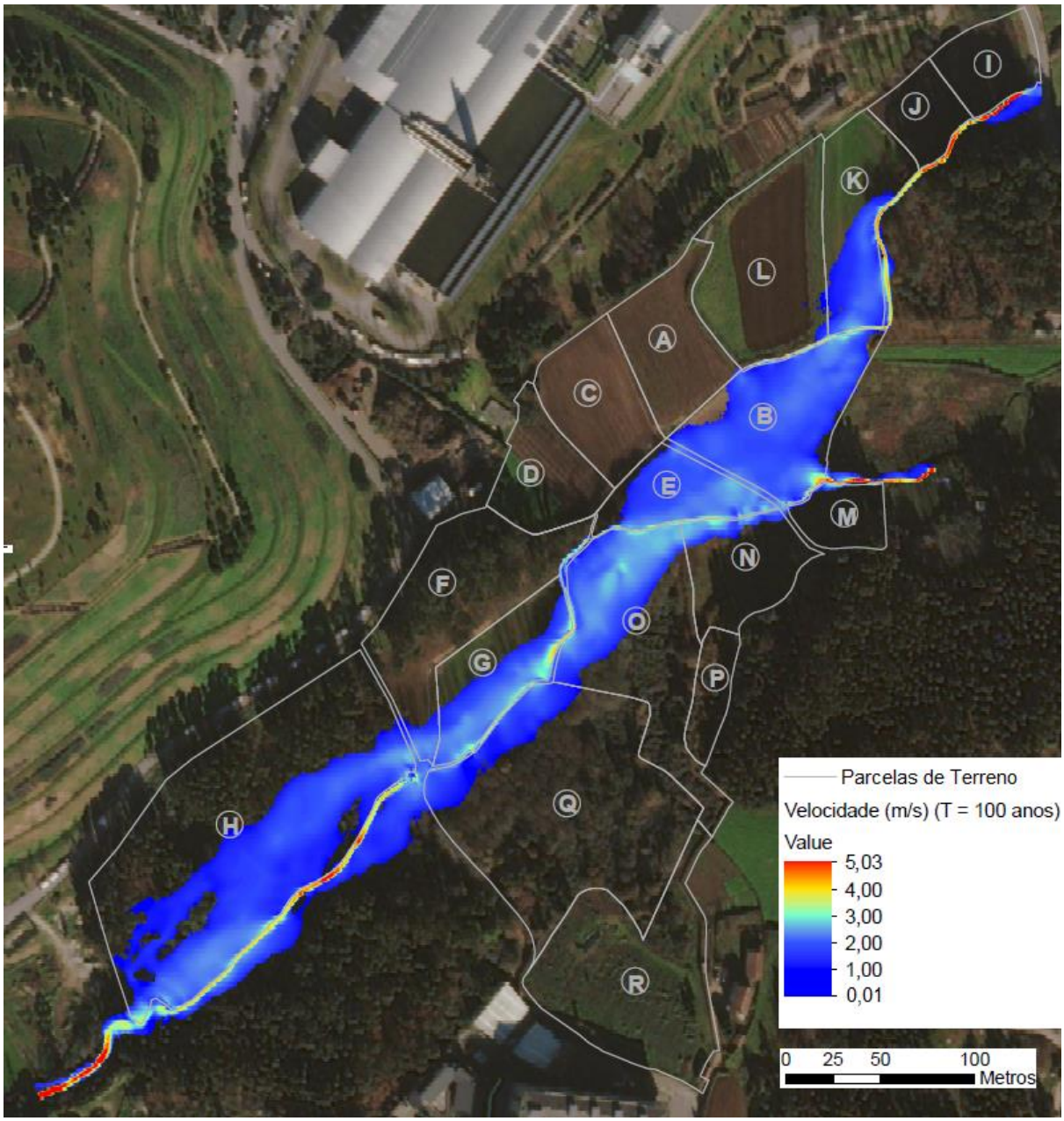


Figura 11. *Mapa de velocidades na situação atual, considerando um período de retorno de 100 anos.*

Em termos de velocidades máximas de escoamento para os diferentes períodos de retorno, as mesmas variam entre 4,09 m/s (T = 5 anos) e 5,03 m/s (T = 100 anos). Os locais onde se verificam os

valores superiores de velocidade são identificados nos mapas correspondentes através da coloração vermelha. A velocidade média de escoamento ao longo do ribeiro do Caneiro varia entre os 2,00 – 4,00 m/s.

3.3. Estudo hidráulico da situação de projeto

Tal como referido no ponto 1 da presente Memória Descritiva, este projeto teve como principal objetivo a valorização e a reabilitação de um troço do ribeiro do Caneiro junto aos terrenos da LIPOR, o qual resultou na necessidade de se proceder ao desvio de uma parte do ribeiro. Como tal, neste capítulo serão apresentadas: i) condições de base do projeto, i. e., as características gerais do canal de desvio a realizar (traçado, geometria e características de vazão); ii) resultados da modelação hidráulica do troço fluvial na situação de projeto.

3.3.1. Condições base do projeto

Na Figura 12 encontra-se representada a proposta do novo traçado do ribeiro do Caneiro, considerando o desvio ao traçado original. O desvio apresenta uma extensão de cerca de 390 metros, resultando num traçado de comprimento similar ao atual. Esta proposta permite também colocar a céu aberto todo o traçado de intervenção, anulando assim os troços atualmente entubados.

A proposta apresentada teve em consideração o esboço do traçado, a delimitação da área prevista para as futuras instalações, a delimitação das parcelas de terreno pretendidas adquirir pela LIPOR, o traçado dos novos arruamentos previstos pela CM Gondomar e as características do próprio terreno.

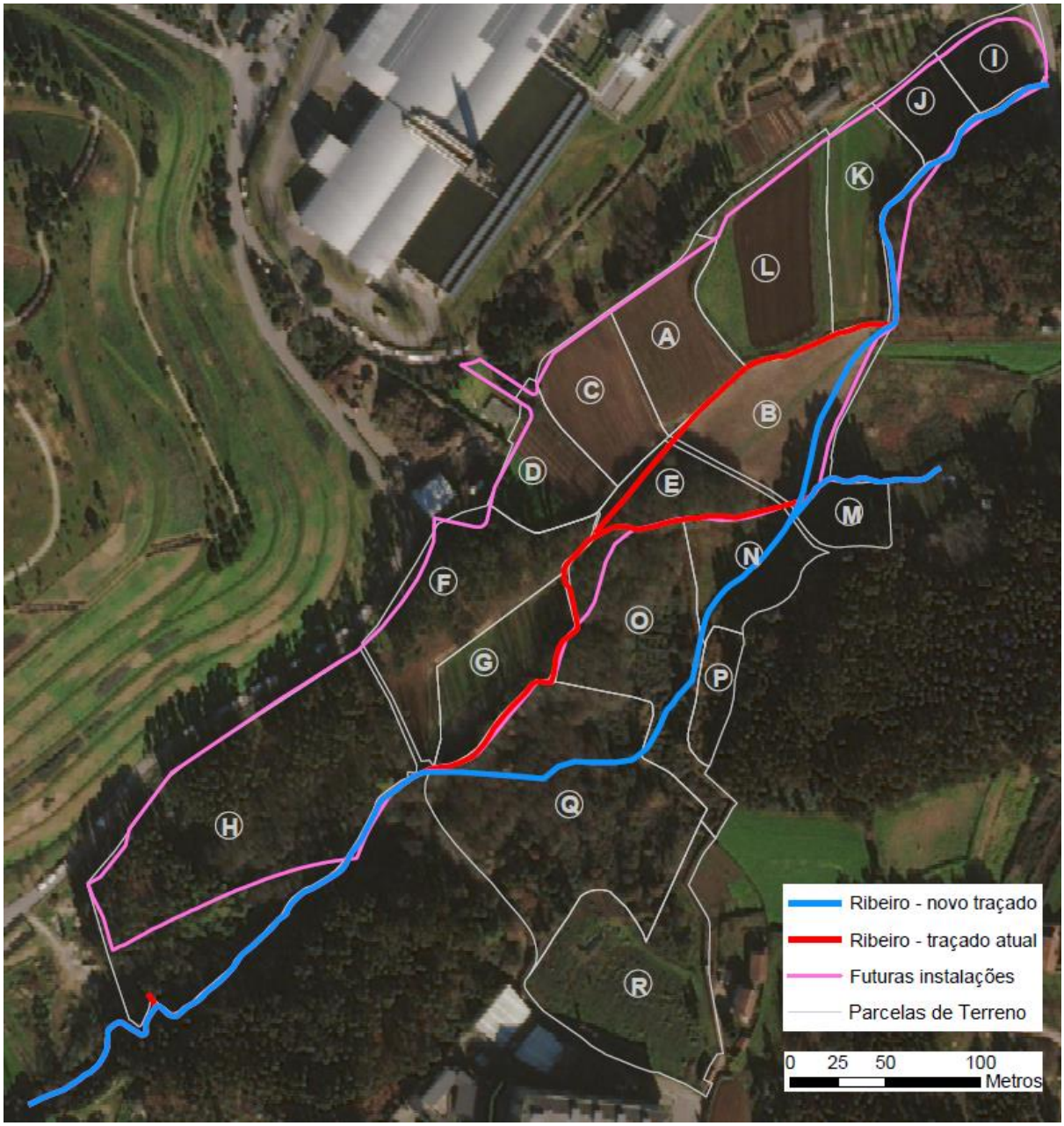


***Figura 12**. Planta de Implantação geral da situação de projeto e delimitação das futuras instalações da LIPOR previstas.*

- *Geometria e características do novo traçado*

Na Figura 13 (Anexo B – Peça Desenhada EH 4) apresenta-se o traçado proposto para o troço em análise e as respetivas secções transversais.

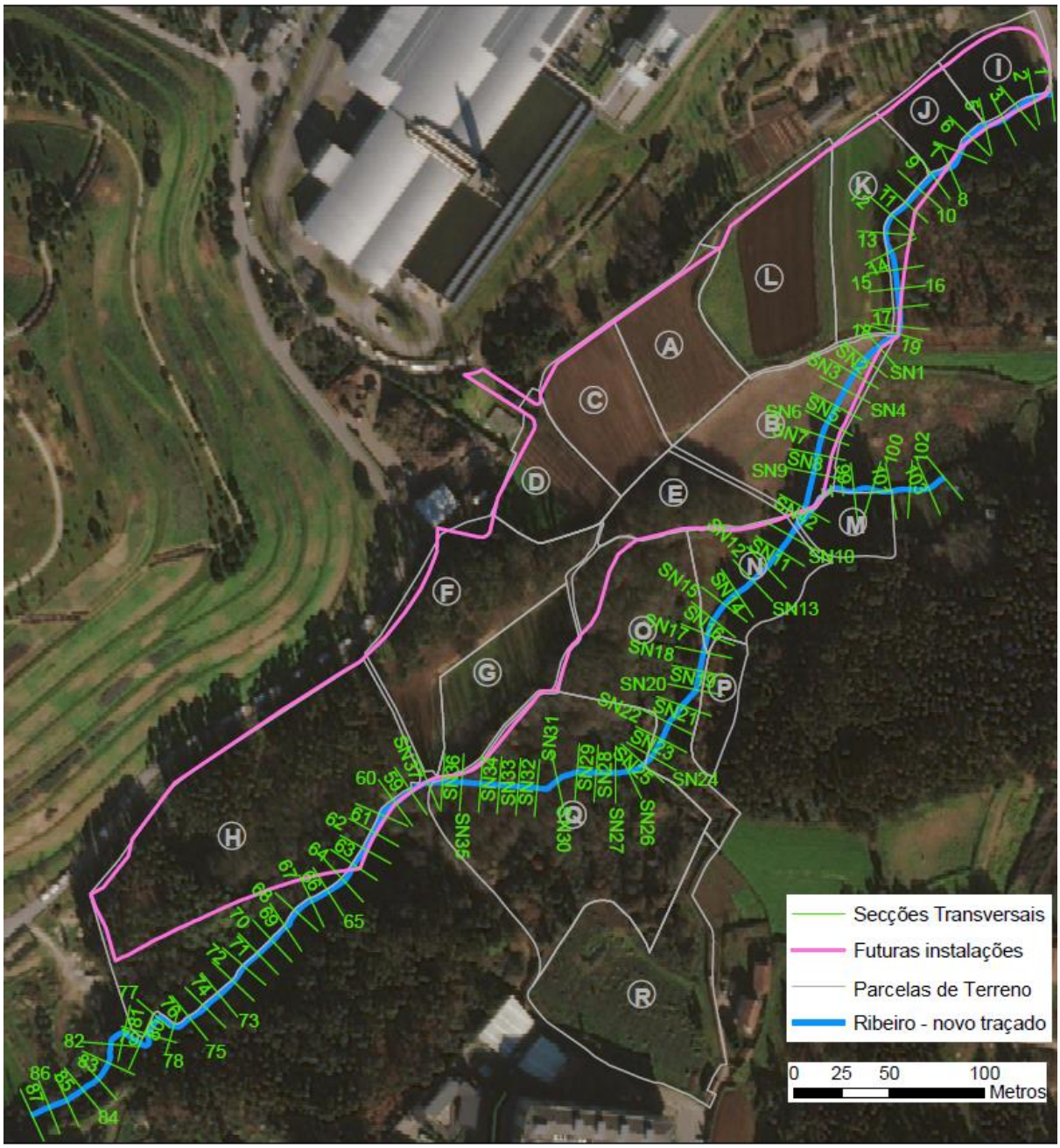


Figura 13. *Troços de intervenção e respetivas secções transversais.*

Uma vez que o objetivo do desvio do ribeiro passa por promover a valorização dos aspetos hidráulicos, paisagísticos e ecológicos, o novo canal do ribeiro foi dimensionado (nas parcelas B, N, M, O e Q) de forma a conter a totalidade de escoamento para um período de retorno de 100 anos. Como tal, propõem-se um canal de forma trapezoidal, com uma inclinação das margens de 45°, conforme esquematizado na Figura 14.

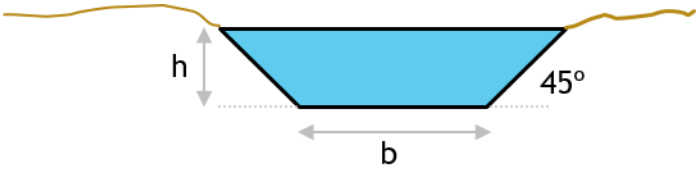


Figura 14. *Geometria tipo do canal do novo traçado do ribeiro.*

Na zona de confluência entre o afluente e o novo traçado do ribeiro é proposto a criação de um charco ecológico. Este tipo de massa de água apresenta uma importância ecológica e funções paisagísticas e ambientais muito relevantes, uma vez que fomenta a biodiversidade (presença de plantas aquáticas e animais – anfíbios, macroinvertebrados, espécies terrestres – assim como seu refúgio) e a amenidade do local.

A Figura 15 (pormenores do charco no Anexo C – Peças Desenhadas P.E 3.2 e PE 3.3) apresenta com maior detalhe o traçado em planta do charco ecológico. Este é delimitado pelas secções SN9 e SN10 a montante e a jusante, respetivamente, e a Este pela seção SN39.

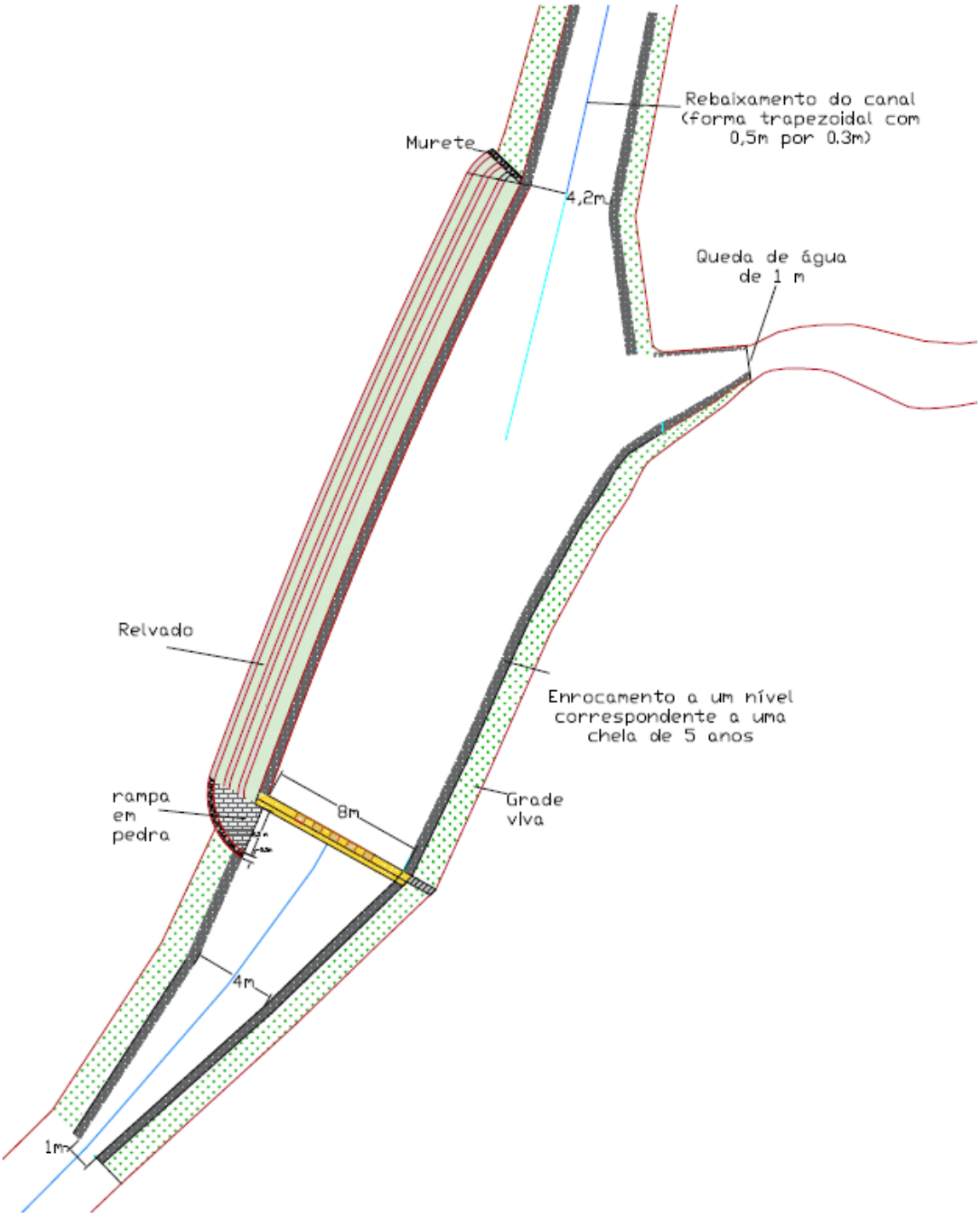


Figura 15. *Traçado do charco ecológico a implantar na confluência entre o ribeiro e o seu afluente.*

O charco tem um comprimento de cerca de 35 m, sendo que a sua largura máxima é de cerca de 12 m. A largura do fundo do canal de entrada do ribeiro no charco (secção SN9) é de 4,20 m - enquanto que a saída do escoamento do charco a jusante é realizada por via de um canal (secção SN10) com uma largura de 8 m no fundo do canal. Em termos de implantação topográfica o charco apresenta as seguintes características: a totalidade do fundo da bacia situa-se à cota 111,08 m; a margem direita (vista de montante para jusante) situa-se à cota 113,00 m; a cota da margem esquerda segue o traçado original do terreno. Cada uma das margens apresenta uma inclinação de 45°.

Conforme observado pela Figura 15, a margem direita do charco será moldada em forma de "anfiteatro", sendo constituída por degraus de 0,5 m de altura (desde o fundo do canal até à cota 113,00 m) por 0,8 m de largura (0,3 m de pedra e 0,5 m de relvado), resultando num espaço de fruição por parte das pessoas (Anexo C – Peça Desenhadas PE 3.2 e PE 3.3)

De forma a evitar que nos períodos de estiagem o charco ecológico fique a seco, será construído na secção de saída um micro-açude de pedra, com o objetivo de garantir durante todo o ano a manutenção de uma altura mínima de água no charco de cerca de 20 cm, permitindo simultaneamente a ocorrência de escoamento para jusante.

Na parte final da margem direita do charco (a jusante do micro-açude), projetou-se uma rampa em pedra, de forma a encaminhar o escoamento de volta para o canal do ribeiro, nas situações em que o nível do mesmo atinja os degraus do anfiteatro.

De forma a evitar uma transição brusca na secção de escoamento (e assim evitar a ocorrência de inundação), a geometria do canal a jusante do charco apresenta uma transição suave: largura de fundo do canal de 4 m (SN11); largura de fundo do canal de 1 m (SN12).

No que se refere à entrada do escoamento do afluente no charco existe a necessidade de se proceder ao reperfilamento e alteração da geometria do troço final do afluente (secções 99 – SN41). A entrada será realizada por meio de uma queda de água de 1 m (secção SN39), procedida de um canal com largura aproximada de 1,8 m (SN40). Esta queda de água tem como função garantir o arejamento da água contida no interior do charco, impedindo assim a degradação da qualidade da água da bacia (eutrofização), assegurando de igual modo que o seu aspeto visual não se degrada.

O projeto de intervenção engloba também alterações de geometria nos troços já existentes a montante e jusante do desvio do ribeiro, nomeadamente a nível da largura do canal (alargamento do canal para a margem direita), mantendo-se aí o traçado existente.

Apenas o troço final do ribeiro (secções 81 – 88), bem como o troço inicial do afluente (seções 100 – 104) não sofrerão alterações, uma vez que estes não influenciarão o terreno das futuras instalações.

Nos troços a intervir, excetuando a zona do charco ecológico, o centro do canal deverá possuir um rebaixamento, de forma trapezoidal, com uma altura de 0,30 m e uma largura de 0,50 m. Este destina-se a assegurar sempre a existência de escoamento ao longo do canal, mesmo em períodos de estiagem.

De forma a escoar os caudais correspondentes a uma cheia de 100 anos, sem que ocorra inundação, foi necessário considerar também uma modelação do terreno junto à margem direita de troços confinantes às futuras instalações da LIPOR, com acréscimos médios de 20 a 30 cm. As respetivas zonas situam-se entre as seções 10 – 19 (troço de montante), SN7 – SN12 (troço desviado) e 59 – 69.

Com as propostas e alterações anteriormente descritas assegura-se os objetivos pretendidos, nomeadamente: valorização do ribeiro; contenção da totalidade do escoamento dentro do canal, considerando um período de retorno de 100 anos; enquadramento considerando a área do domínio público hídricos (canal e 10 metros de largura em cada margem da ribeira).

Na Tabela 4 sumarizam-se as intervenções a realizar, consoante o tipo de intervenção na geometria, bem como as características do traçado.

Tabela 4. *Características gerais das intervenções a realizar na geometria do ribeiro do Caneiro.*

Troço	Descrição	b (m)	H (m)	Observações
1	Troço de montante até ao desvio do ribeiro (seções 1 – 19)	2,0 – 4,0	0,6 – 1,0	Alargamento do canal apenas para a margem direita, uma vez que os terrenos da margem esquerda não são propriedade da LIPOR.
2	Troço desviado a montante do charco ecológico, próximo da delimitação das novas instalações previstas (seções SN1 – SN9)	4,2	0,5 – 1,6	
3	Charco ecológico (Secções SN9 – SN10; SN40)	4,0 – 8,0	1,6 – 1,9	zona alargada de fraca pendente; confluência do ribeiro com o afluente
4	Troço desviado a jusante do charco ecológico (secções SN11 – SN37)	1,0	1,6 – 1,7	
5	Troço de jusante (secções 59 – 80)	3,0	1,0 – 1,5	Alargamento do canal apenas para a margem direita, uma vez que os terrenos da margem esquerda não são propriedade da LIPOR.

* **b** corresponde à largura inferior do canal; **H** corresponde à altura da margem.

Para cada uma das seções do troço do ribeiro será apresentado o respetivo desenho de pormenor, mostrando a diferença em relação à situação atual (Anexo C – Peça desenhada PE 2).

No capítulo 4 encontram-se presentes as características da proposta de micro-açude, bem como as afetas ao dimensionamento dos revestimentos de proteção do Leito e das Margens do ribeiro do Caneiro.

A Figura 16 (Anexo C – Peça Desenhada PE 1) apresenta a nova configuração do troço do ribeiro do Caneiro em análise, considerando as intervenções propostas.



***Figura 16**. Novo traçado do ribeiro do Caneiro e respetivas margens.*

3.3.2. Resultados da modelação hidráulica

- *Modelo HEC-RAS*

Numa primeira fase, efetuou-se uma simulação hidráulica 1D, recorrendo ao modelo HEC-RAS. Tal permitiu afinar a geometria correta do novo traçado do canal, bem como as modificações necessárias a realizar na geometria do canal atual, de forma a conter em si a totalidade do escoamento estimado para um período de retorno de 100 anos.

As condições-fronteira, bem como os valores do coeficiente de rugosidade de Manning foram iguais aos definidos para a simulação da situação atual.

Nas Figuras 17 e 18 encontram-se presentes, respetivamente, o mapa com a vista bidimensional do escoamento e o perfil longitudinal do mesmo (apenas representado para o troço principal do ribeiro), para o período de retorno de 100 anos.

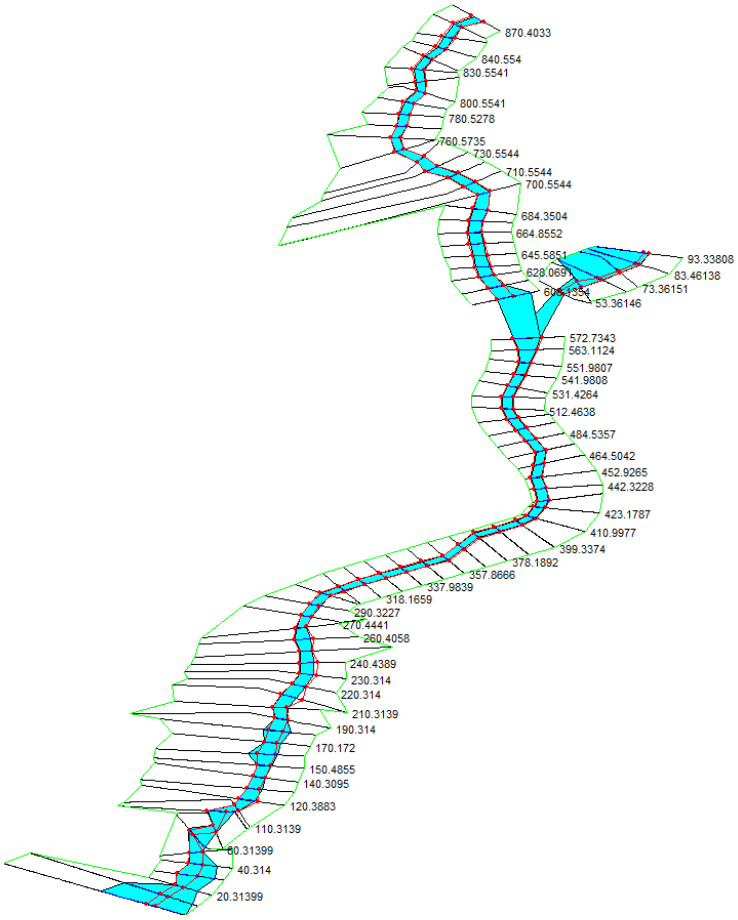


Figura 17. *Vista bidimensional do escoamento ao longo do ribeiro do Caneiro, para um período de retorno de 100 anos, na situação de projeto (obtido através do HEC-RAS).*

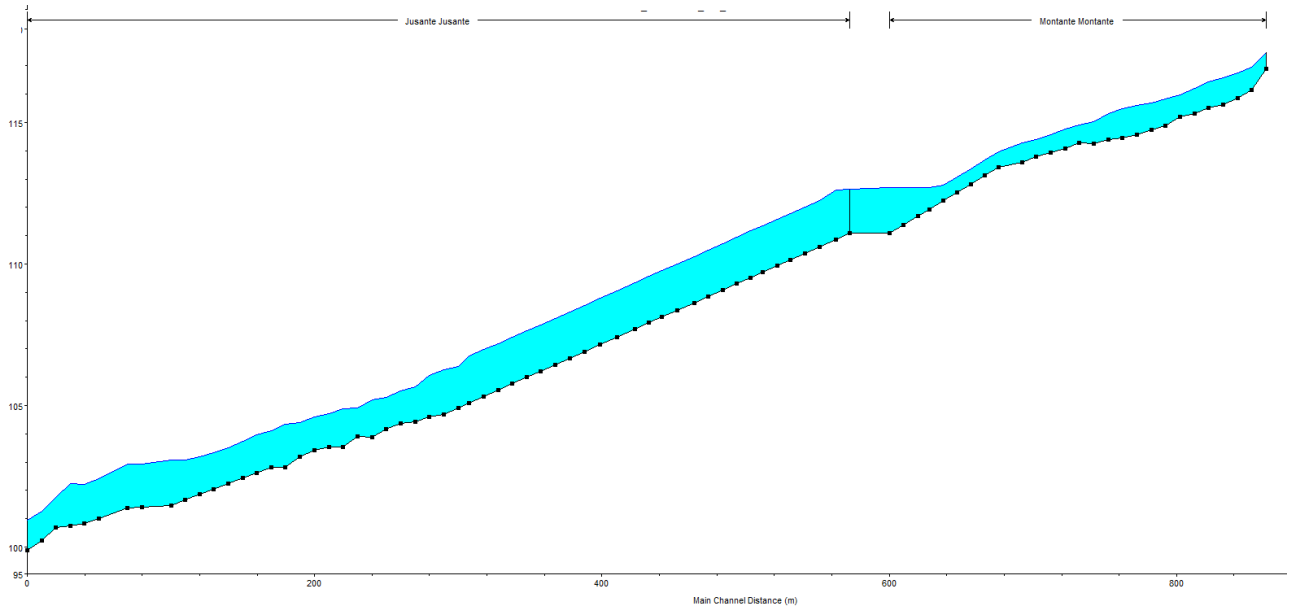


Figura 18. *Perfil longitudinal da altura de escoamento e da topografia ao longo do ribeiro do Caneiro (excetuando o troço do afluente), para um período de retorno de 100 anos, na situação de projeto (obtido através do HEC-RAS).*

Como se pode verificar pela Figura 17 a geometria proposta consegue conter em si a totalidade do escoamento para um período de retorno de 100 anos (delimitação do escoamento entre as linhas vermelhas, correspondentes às margens).

Com base na nova geometria das seções transversais gerou-se o modelo digital do terreno correspondente ao canal do ribeiro do Caneiro e efetuou-se a simulação hidráulica 2D do escoamento, recorrendo ao modelo hidráulico IBER.

- *Modelo hidráulico IBER*

Tal como para a simulação 1D, os coeficientes de Manning, bem como as condições-fronteira adotadas corresponderam aos valores utilizados para a simulação hidráulica 2D da situação atual.

Na Figura 19 (Anexo B – Peça Desenhada EH 5.4) é apresentado o mapa de inundação correspondente ao caudal de cheia de 100 anos, com as alturas de água correspondentes. Os mapas de inundação para os restantes períodos de retorno considerados são apresentados no Anexo B – Peças Desenhadas EH 5.1 a EH 5.3.

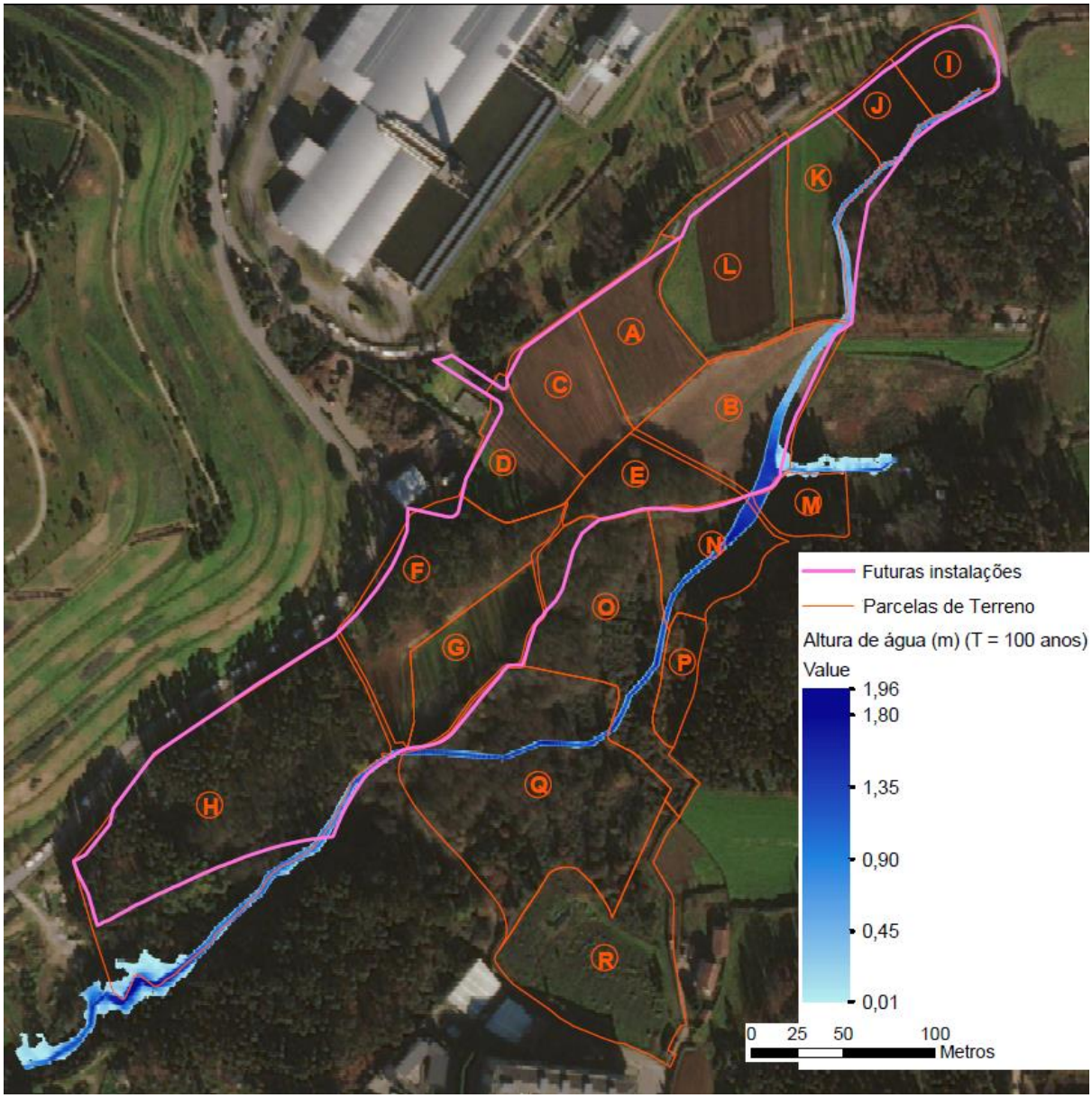


***Figura 19**. Mapa de inundação na situação de projeto, considerando um período de retorno de 100 anos.*

Conforme se verifica na Figura 19, a proposta do novo traçado e geometria do ribeiro impede a existência de inundação dos terrenos marginais ao ribeiro.

As únicas manchas de inundações verificam-se nos troços em que não se procederá a alterações da geometria, uma vez que são troços que, em caso de inundação, não têm influência no perímetro das futuras instalações da LIPOR, nem nas atuais: troço do afluente e parte final do troço de jusante.

As alturas máximas de água obtidas através da modelação hidráulica, considerando os caudais de cheia de 5 e 100 anos, variam, respetivamente entre 1,35 m e 1,96 m, sendo estas verificadas na parte final do troço em análise. No charco, as alturas médias de água situam-se entre os 0,85 m (T = 5 anos) e 1,45 m (T = 100 anos).

A Tabela 5 apresenta as alturas médias de água em cada um dos troços definidos na Tabela 4, para os diferentes períodos de retorno considerado.

Tabela 5. *Altura média de água em cada um dos troços do ribeiro do Caneiro, para os diferentes períodos de retorno considerados.*

Troço	Descrição	Altura de água (m)			
		T = 5 anos	T = 10 anos	T = 50 anos	T = 100 anos
1	Troço de montante até ao desvio do ribeiro (seções 1 – 19)	0,44	0,50	0,63	0,69
2	Troço desviado a montante do charco ecológico , próximo da delimitação das novas instalações previstas (seções SN1 – SN9)	0,36	0,41	0,58	0,69
3	Charco ecológico (Secções SN9 – SN10; SN40)	0,85	1,00	1,30	1,45
4	Troço desviado a jusante do charco ecológico (secções SN11 – SN37)	1,01	1,06	1,30	1,37
5	Troço de jusante (secções 59 – 80)	0,76	0,81	1,03	1,13

De referir que as alturas de água obtidas são concordantes com as respetivas obtidas pelo modelo hidráulico HEC-RAS.

Relativamente às velocidades de escoamento, apresenta-se na Figura 20 (Anexo B – Peça Desenhada EH 6.4) o mapa de inundação com a distribuição dessa variável, para o caudal de cheia de 100 anos. Os mapas correspondentes restantes períodos de retorno considerados são apresentados no Anexo B – Peças Desenhadas EH 6.1 a EH 6.3.

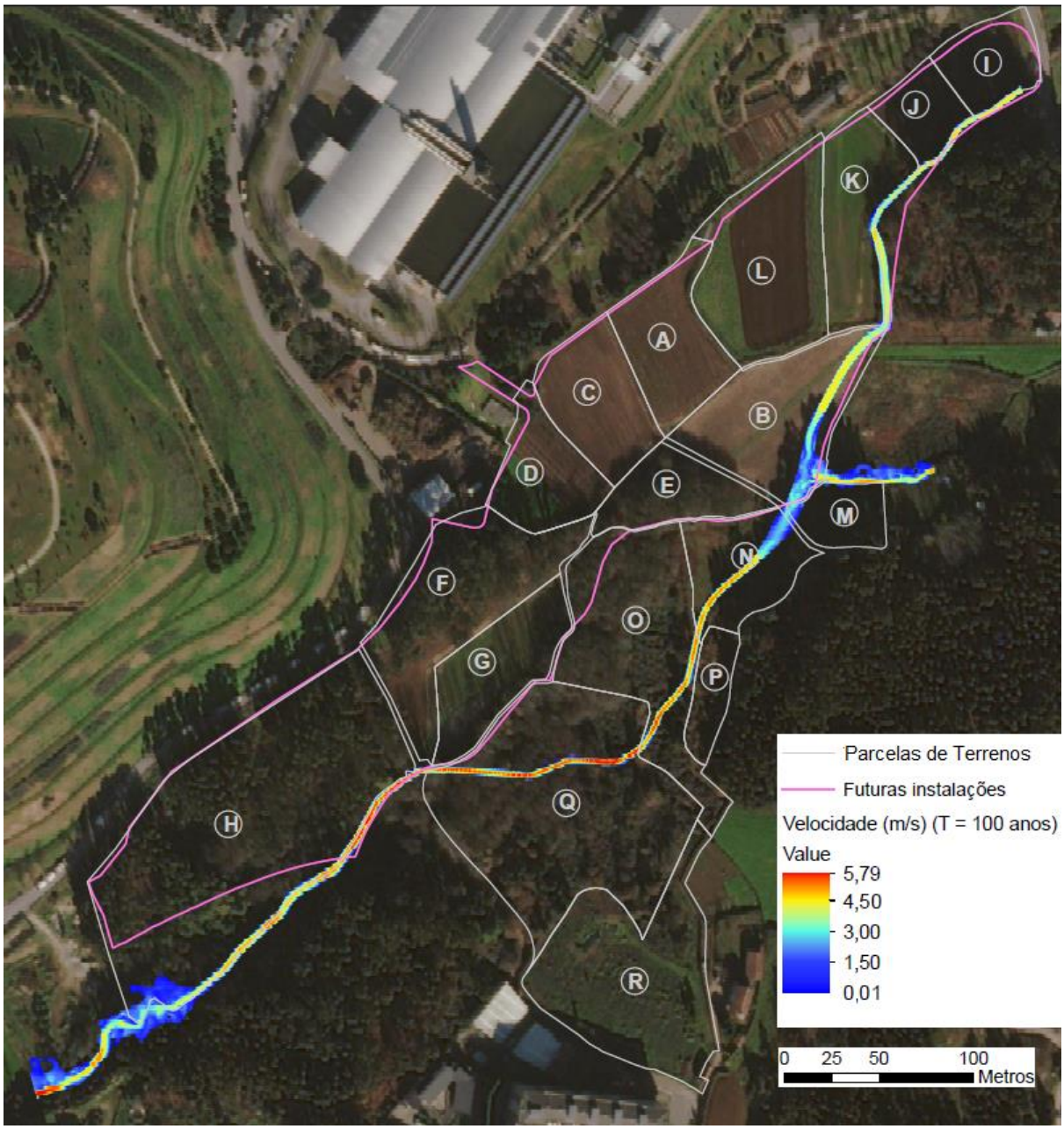


Figura 20. *Mapa de velocidades na situação de projeto, considerando um período de retorno de 100 anos.*

Em termos de velocidades máximas de escoamento para os diferentes períodos de retorno, as mesmas variam entre 5,20 m/s (T = 5 anos) e 5,79 m/s (T = 100 anos). Os locais onde se verificam os valores superiores de velocidade são identificados nos mapas correspondentes através da coloração vermelha. Em termos gerais, as velocidades de escoamento são superiores a jusante do charco, em particular no novo troço desviado do ribeiro e na parte final do troço de jusante existente.

A Tabela 6 apresenta as velocidades médias de escoamento para os diferentes troços definidos na Tabela 4.

***Tabela 6**. Velocidades médias de escoamento em cada um dos troços do ribeiro do Caneiro, para os diferentes períodos de retorno considerados.*

Troço	Descrição	Velocidade (m/s)			
		T = 5 anos	T = 10 anos	T = 50 anos	T = 100 anos
1	Troço de montante até ao desvio do ribeiro (seções 1 – 19)	2,17	2,33	2,72	2,85
2	Troço desviado a montante do charco ecológico , próximo da delimitação das novas instalações previstas (seções SN1 – SN9)	2,05	2,21	2,46	2,57
3	Charco ecológico (Secções SN9 – SN10; SN40)	1,15	1,31	1,65	1,87
4	Troço desviado a jusante do charco ecológico (secções SN11 – SN37)	3,12	3,31	3,67	4,06
5	Troço de jusante (secções 59 – 80)	2,84	3,09	3,51	3,74

Através da Tabela 6 constata-se que os troços a montante do charco ecológico apresentam a mesma gama de velocidades de escoamento, situação igualmente verificada para os troços a jusante.

3.4. Conclusões

Tal como referido, a presente Memória Descritiva refere-se ao projeto de execução de valorização e reabilitação de um troço do ribeiro do Caneiro junto aos terrenos da LIPOR, em Baguim do Monte.

Considerando o traçado atual do ribeiro, verifica-se a existência de áreas de inundação nos terrenos marginais do ribeiro, na quase totalidade do troço. Assim, tendo em consideração a futura construção de uma nova unidade de tratamento de resíduos adjacente, a valorização e reabilitação do canal foi realizada de forma a contar toda a área de implantação das novas instalações livre de inundações. Para tal, foi necessário proceder ao desvio de uma parte do troço do ribeiro do Caneiro.

A proposta de intervenção consiste no desvio do ribeiro do Caneiro numa extensão de cerca de 390 m, com traçado de comprimento similar ao atual, permitindo colocar a céu aberto todo o troço de intervenção, anulando os troços atualmente entubados do ribeiro do Caneiro.

Para o novo traçado, propõem-se um canal trapezoidal, com largura variável ao longo do traçado (entre 1 e 4,2 m), permitindo assim assegurar que o escoamento dos caudais correspondentes a uma cheia de 100 anos não inunde os terrenos marginais.

Na zona de confluência da linha de água principal e da linha de água do afluente foi prevista a criação de um charco ecológico, correspondendo a zona do canal mais alargada e de fraca pendente, cujo objetivo passa por fomentar a biodiversidade, bem como a valorizar o aspeto paisagístico do ribeiro.

Considerando o objetivo de conter no canal a totalidade do escoamento correspondente a uma cheia com um período de retorno de 100 anos, é também proposto o alargamento do canal para a margem direita dos troços existentes na linha de água principal, nomeadamente na zona confinante das

instalações previstas. De referir também que na margem direita, em zonas confinantes às futuras instalações da LIPOR, não só no troço existente, mas como no novo troço, é proposto a modelação do terreno, através de aterro, com acréscimos médios de 20 a 30 cm.

Através da modelação hidráulica da situação proposta verifica-se a inexistência de inundação dos terrenos marginais e verifica-se também que a grandeza de velocidades de escoamento é constante nos dois troços a montante, situação igualmente verificada nos dois troços a jusante do charco ecológico.

As intervenções propostas demostram claramente o benefício hidráulico do projeto proposto, sendo soluções válidas e sustentáveis para a melhoria da linha de água a nível ecológico e paisagístico.

No capítulo 4 são apresentadas as soluções propostas para o revestimento das margens e do canal baseada em materiais e técnicas de engenharia natural, bem como as estruturas previstas (micro-açude), de forma tornar o troço de intervenção o mais natural e aprazível possível.

4. Detalhes construtivos

Neste capítulo descrevem-se alguns aspetos a implementar no projeto de execução, nomeadamente: i) estabilização e impermeabilização do leito e margens do canal; ii) micro-açude a jusante do charco ecológico. Todos os pormenores do projeto de execução, incluindo os detalhes construtivos aqui apresentados, serão pormenorizados com as Peças Desenhadas correspondentes (Anexo C – Peças Desenhadas PE 3), bem como com as respetivas descrições apresentadas nas Condições Técnicas Especiais do Caderno de Encargos e no Mapa de Quantidades e Medições.

4.1. Estabilização e impermeabilização do leito e margens do canal

A proposta de estabilização e impermeabilização do leito do canal e margens consiste no dimensionamento dos revestimentos do leito do canal do ribeiro e das margens, o qual envolverá as componentes de proteção dos mesmos, bem como os elementos de impermeabilização do leito do ribeiro.

A Figura 21 (Anexo C – Peça Desenhada PE 3.1) representa um corte transversal tipo de uma seção do canal, representando os materiais / técnicas a aplicar ao longo do canal, servindo de base para a descrição que se segue.

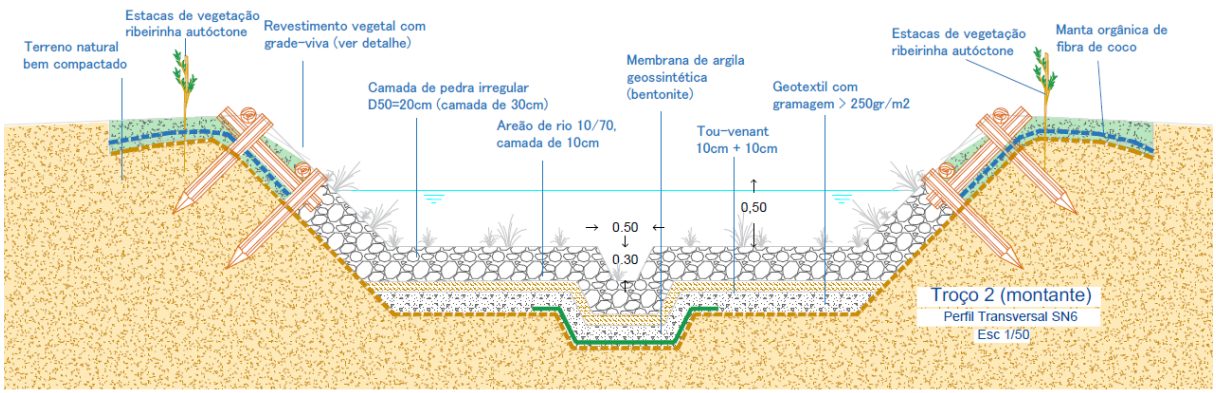


***Figura 21**. Esquema do tipo de revestimento a aplicar no traçado do canal (exemplo de secção do troço 2 – montante)*

O terreno do canal deverá ser revestido por uma tela de "geotêxtil", de modo a prevenir a lavagem / perda de finos do canal e das margens. A tela deverá ter uma gramagem superior a 250 gr/m^2, sendo assente sob o terreno natural bem compactado.

Posteriormente ao geotêxtil colocar-se-á uma camada de "tout-venant" com uma espessura de 20 cm distribuído em duas camadas, 10 + 10 cm, bem compactadas. Na parte inferior da primeira camada de "tout-venant", deverá colocar-se uma membrana de argila geossintética (bentonite) no centro do canal (troços 1, 2, 4, 5 e afluente) e em toda a extensão do charco ecológico (troço 3), para impermeabilização do canal de escoamento. Esta membrana geossintética consiste na colocação de bentonite entre dois geotêxtis, sendo que uma vez hidratada e confinada sob uma camada de cobertura de solo, as suas partículas expandem e criam uma camada impermeável.

De seguida dever-se-á aplicar na base do canal uma camada de 10 cm de areão de rio 10/70.

Por fim, o canal de escoamento do ribeiro deverá ser revestido com recurso a enrocamento e a aplicação de grade-viva. O enrocamento deverá ser aplicado na base do canal de escoamento e do talude (até à altura correspondente ao nível de água para um caudal com período de retorno de 5 anos). Na parte superior das margens deverá ser aplicada uma estrutura de grade-viva (Figura 22).



Figura 22. *Exemplo de uma estrutura de grade-viva.*

No que se refere à dimensão do enrocamento a colocar, nomeadamente o diâmetro médio (D_{50}) das pedras a utilizar, definiu-se um enrocamento com um D_{50} de 200 mm para os troços 1, 2 e 3 e de 400 mm para os troços 4 e 5. No Anexo A encontram-se os cálculos associados.

Imediatamente a jusante do micro-açude, bem como na queda de água da entrada do afluente para o charco, deverá ser colocada uma calçada de blocos de pedra regulares com espessura mínima de 40 cm e uma extensão de 2,5 m e 1,5 m, respetivamente, de forma a evitar a erosão do canal a jusante dessas estruturas.

4.2. Micro-açude

De forma a garantir uma altura de água contínua no charco ecológico ao longo do ano, em especial no período de estiagem, é proposto a implementação de um micro-açude a jusante do charco (seção SN10).

O micro-açude será realizado recorrendo a blocos de pedra de geometria regular, conforme representado no Anexo C – Peça desenhada nº PE 3.3.

Este será executado com blocos de pedra sobrepostos de forma a criar um coroamento com uma altura máxima de 0,40 m acima da base do charco, e cinco descarregadores, na superfície superior e no centro do mesmo, através de aberturas alternadas de 20 cm de altura e 50 cm de largura, criando assim uma poldra. Tal, permitirá também utilizar o micro-açude para passagem entre margens, nos períodos de estiagem.

5. Prazo de Execução

A duração da execução dos trabalhos previstos neste projeto é de **9 meses**.

Os trabalhos de regularização, modelação, estabilização das margens e leito, bem como os referentes à impermeabilização do leito deverão ser realizados, preferencialmente, entre a Primavera e o Verão (altura de estiagem do ribeiro e, consequentemente, com alturas de menor escoamento).

No que se refere à plantação de estacaria viva para a execução da estrutura de grade-viva nas margens, esta deverá ser realizada entre outubro a dezembro (com exceção de períodos de forte precipitação).

Lista de Anexos

A. Dimensionamento do enrocamento de proteção

B. Peças Desenhadas do Estudo Hidráulico (EH)

C. Peças Desenhadas do Projeto de Execução (PE)

Anexo A. Dimensionamento do enrocamento de proteção

A dimensão do enrocamento a usar para revestir o canal de escoamento do troço em análise foi determinada utilizando duas equações distintas: as fórmulas de *Maynord* [6 e 7] e a fórmula de *Escarameia* e *May* [9]

A fórmula de *Maynord* [6] permite determinar o D_{30} do enrocamento a aplicar, sendo o D_{50} determinado pela fórmula [7].

$$D_{30} = S_f * C_s * y * \left[\left(\frac{1}{s-1}\right)^{0,5} * \frac{U}{\sqrt{K_1 * g * y}}\right]^{2,5} \quad \textbf{[6]}$$

$$D_{30} = 0,7 * D_{50} \quad \textbf{[7]}$$

onde: S_f – fator de segurança (1,5); C_s – 0,3 (blocos angulosos) ou 0,375 (blocos rolados); y – altura de margem a proteger (m); s – densidade do material (usualmente utiliza-se o valor de 2,7); U – velocidade média de escoamento (m/s); K_1 – fator de correção da inclinação da margem (fórmula [8]); g – aceleração da gravidade (9,8 m/s^2).

$$K_1 = -0,672 + 1,492 * \cot(\alpha) - 0.449 * cot^2(\alpha) + cot^3(\alpha) \quad \textbf{[8]}$$

onde: α – angulo da margem com a horizontal (°).

$$D_{50} = 0,050 * \left(\frac{U^2}{s-1}\right) \quad \textbf{[9]}$$

Na Tabela 7 apresenta-se os valores do D_{50} obtidos para cada troço, considerando as duas fórmulas utilizadas. De referir que a altura de água considerada corresponde ao nível de água correspondente a um escoamento para um período de retorno de 5 anos, sendo que para a velocidade considerou-se a velocidade média verificada para um período de retorno de 100 anos.

***Tabela 7**. Diâmetro médio do enrocamento a usar para proteção dos leitos e das margens.*

Troço	Descrição	y (m)	U (m/s)	D_{50} (mm)	
				Maynord	Escarameia e May
1	Troço de montante até ao desvio do ribeiro (seções 1 – 19)	0,44	2,85	216	238
2	Troço desviado a montante do charco ecológico , próximo da delimitação das novas instalações previstas (seções SN 1 – SN9)	0,36	2,57	176	195
3	Charco ecológico (Secções SN9 – SN10; SN40)	0,85	1.87	64	103
4	Troço desviado a jusante do charco ecológico (secções SN12 – SN37)	1,01	4,06	426	484
5	Troço de jusante (secções 59 – 80)	0,76	3,74	372	410

Anexo B - Peças Desenhadas do Estudo Hidráulico (EH)

EH 1 – Planta de Implantação geral da situação atual.

EH 2.1 – Mapa de inundação da situação atual, considerando um período de retorno de 5 anos.

EH 2.2 – Mapa de inundação da situação atual, considerando um período de retorno de 10 anos.

EH 2.3 – Mapa de inundação da situação atual, considerando um período de retorno de 50 anos.

EH 2.4 – Mapa de inundação da situação atual, considerando um período de retorno de 100 anos.

EH 3.1 – Mapa de velocidades da situação atual, considerando um período de retorno de 5 anos.

EH 3.2 – Mapa de velocidades da situação atual, considerando um período de retorno de 10 anos.

EH 3.3 – Mapa de velocidades da situação atual, considerando um período de retorno de 50 anos.

EH 3.4 – Mapa de velocidades da situação atual, considerando um período de retorno de 100 anos.

EH 4 – Planta de Implantação geral da situação de projeto.

EH 5.1 – Mapa de inundação da situação de projeto, considerando um período de retorno de 5 anos.

EH 5.2 – Mapa de inundação da situação de projeto, considerando um período de retorno de 10 anos.

EH 5.3 – Mapa de inundação da situação de projeto, considerando um período de retorno de 50 anos.

EH 5.4 – Mapa de inundação da situação de projeto, considerando um período de retorno de 100 anos.

EH 6.1 – Mapa de velocidades na situação de projeto, considerando um período de retorno de 5 anos.

EH 6.2 – Mapa de velocidades na situação de projeto, considerando um período de retorno de 10 anos.

EH 6.3 – Mapa de velocidades na situação de projeto, considerando um período de retorno de 50 anos.

EH 6.4 – Mapa de velocidades na situação de projeto, considerando um período de retorno de 100 anos.

Anexo C - Peças Desenhadas do Projeto de Execução (PE)

PE 1: Planta de Implantação Geral da Situação de Projeto

PE 2: Seções / Perfis Transversais

- Folha 1 – 6: Perfis Transversais 1 a 19
- Folha 2 – 6: Perfis Transversais SN1 a SN19
- Folha 3 – 6: Perfis Transversais SN20 a SN37
- Folha 4 – 6: Perfis Transversais 59 a 77
- Folha 5 – 6: Perfis Transversais 78 a 88
- Folha 6 – 6: Perfis Transversais 99 a 104 e SN38 a SN42

PE 3: Pormenores Construtivos

- PE 3.1: Secções Transversais tipo
  - Folha 1 – 2: Troço 1 e 2 (Montante)
  - Folha 2 – 2: Troço 4 e 5 (Jusante)
- PE 3.2: Zona de confluência
  - Folha 1 – 2: Perfis Transversais SN9 – SN41 – SN42
  - Folha 2 – 2: Cortes Longitudinais do Charco e Queda de Água
- PE 3.3: Micro-açude – Planta Alçados e Cortes e Porm Const – SN10