



**EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO E INFRA-ESTRUTURAS DO ALQUEVA, S.A.**

**PROJETO DE EXECUÇÃO  
E ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL  
DO CIRCUITO HIDRÁULICO DE REGUENGOS  
DE MONSARAZ E RESPETIVO BLOCO DE REGA**

**VOLUME 1 – LIGAÇÃO DA TOMADA DE  
ÁGUA AO RESERVATÓRIO DA BRAGADA**

**Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa**

Lisboa, março de 2019





Projeto de Execução  
Volume 1 – Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa

**APRESENTAÇÃO**





Projeto de Execução  
Volume 1 – Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa

## **EDIA - EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO E INFRA-ESTRUTURAS DO ALQUEVA, S.A.**

### **PROJETO DE EXECUÇÃO E ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL DO CIRCUITO HIDRÁULICO DE REGUENGOS DE MONSARAZ E RESPETIVO BLOCO DE REGA**

#### **PROJETO DE EXECUÇÃO VOLUME 1 – LIGAÇÃO DA TOMADA DE ÁGUA AO RESERVATÓRIO DA BRAGADA TOMO 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa**

O consórcio de empresas **PROCESL / TPF PLANEGE CENOR** apresenta, para a **EDIA**, Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva, S.A., o Volume 1 - Ligação ao Reservatório da Bragada, Tomo 1.1 – Memória Descritiva de Justificativa, que integra o Projeto de Execução e Estudo de Impacte Ambiental do Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz e Respetivo Bloco de Rega.

Lisboa, março de 2019





Projeto de Execução  
Volume 1 – Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa

**INDICE**



## ÍNDICE GERAL

### VOLUME 1 – LIGAÇÃO DA TOMADA DE ÁGUA AO RESERVATÓRIO DA BRAGADA

- **Tomo 1.1 – Memória descritiva e justificativa**
- Tomo 1.2 – Peças desenhadas
- Tomo 1.3 – Medições
- Tomo 1.4 – Estimativa Orçamental
- Tomo 1.5 – Lista de Preços
- Tomo 1.6 – Clausulas Técnicas Especiais

### VOLUME 2 – RESERVATÓRIOS

- Volume 2.1 – RESERVATÓRIO DA BRAGADA – R1
- Volume 2.2 – RESERVATÓRIO DA FURADA- R2
- Volume 2.3 – LISTA DE PREÇOS
- Volume 2.4 – CLAUSULAS TÉCNICAS ESPECIAIS

### VOLUME 3 – SISTEMA ELEVATÓRIO DA BRAGADA

### VOLUME 4 – LIGAÇÃO ENTRE O RESERVATÓRIO DA FURADA E A ALBUFEIRA DA VIGIA

### VOLUME 5 – REDES DE REGA

- Volume 5.1 – REDE DE REGA DO BLOCO DO PERAL
- Volume 5.2 – REDE DE REGA DO BLOCO DA VENDINHA
- Volume 5.3 – REDE DE REGA DO BLOCO DE MONTOITO
- Volume 5.4 – REDE DE REGA DO BLOCO DE REGUENGOS
- Volume 5.5 – ESTAÇÃO SOBREPRESSORA DE ALDEIAS DE MONTOITO
- Volume 5.6 – ESTAÇÃO SOBREPRESSORA DA REVILHEIRA
- Volume 5.7 – LISTA DE PREÇOS
- Volume 5.8 – CLAUSULAS TÉCNICAS ESPECIAIS

### VOLUME 6 – ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

### VOLUME 7 – DOCUMENTOS DE PREVENÇÃO

- Volume 7.1 – PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE
- Volume 7.2 – COMPILAÇÃO TÉCNICA

### VOLUME 8 – PLANO DE PREVENÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

### VOLUME 9 – SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA



## ÍNDICE DO VOLUME

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	2
<b>2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CIRCUITO HIDRÁULICO DE REGUENGOS DE MONSARAZ</b>	<b>4</b>
<b>3. CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO CANAL ÁLAMOS-LOUREIRO</b>	<b>6</b>
3.1. CARATERIZAÇÃO GERAL	6
3.2. CANAL ÁLAMOS-LOUREIRO	6
<b>4. CONCEPÇÃO GERAL DA OBRA</b>	<b>8</b>
<b>5. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS</b>	<b>9</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	9
5.2. TRABALHOS DE PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA E ENSAIOS	9
5.3. RESUMO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS	9
5.3.1. Trabalhos de Prospeção Mecânica	9
5.3.2. Ensaio laboratoriais	10
5.3.3. Condições de escavabilidade	12
5.3.4. Inclinação de taludes	13
5.4. CONDIÇÕES GERAIS DE FUNDAÇÃO	13
5.4.1. Conduta Adutora	13
5.4.2. Atravessamento do rio Degebe e da ribeira da Azambuja	14
<b>6. ESTUDOS HIDRÁULICOS</b>	<b>16</b>
6.1. DETERMINAÇÃO DO CAUDAL A DERIVAR	16
6.1.1. Condições de Fronteira	16
6.1.2. Cotas Piezométricas na derivação para o circuito de Reguengos	16
6.2. CONDUTA ADUTORA GRAVÍTICA - T1	23
6.2.1. Considerações Gerais	23
6.2.2. Perdas de carga	24
6.2.3. Dimensionamento	26
6.2.4. Dimensionamento do Órgão de Regulação de Caudal	29
<b>7. CONDUTA ADUTORA GRAVÍTICA – T1</b>	<b>34</b>
7.1. DESCRIÇÃO DO TRAÇADO	34
7.2. MATERIAL DAS TUBAGENS	35
7.3. CRITÉRIOS DE TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL	35
7.4. VALAS PARA ASSENTAMENTO DE TUBAGEM	37
7.5. TRAVESSIAS DO RIO DEGEBE E DA RIBEIRA DA AZAMBUJA	38

7.5.1.	Descrição da Solução	38
7.5.2.	Faseamento Construtivo	39
7.6.	TRAVESSIAS DE CAMINHOS E LINHAS DE ÁGUA	41
7.7.	MACIÇOS DE AMARRAÇÃO	44
<b>8.</b>	<b>EQUIPAMENTO DE COMANDO, MANOBRA E SEGURANÇA</b>	<b>47</b>
8.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	47
8.2.	DERIVAÇÕES PARA O BLOCO DE REGA DO PERAL	47
8.3.	VENTOSAS	47
8.3.1.	Determinação do diâmetro das ventosas	49
8.3.2.	Instalação das ventosas	51
8.4.	DESCARGAS DE FUNDO	53
<b>9.</b>	<b>INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA DE AUTOMAÇÃO</b>	<b>57</b>
9.1.	INTRODUÇÃO	57
9.2.	DADOS DO PROJETO	57
9.2.1.	Descrição do imóvel e limites da empreitada	57
9.2.2.	Âmbito do projeto	57
9.2.3.	Materiais equivalentes	58
9.3.	FIBRA ÓPTICA - TROÇO T1 - LIGAÇÃO AO RESERVATÓRIO R1 (BRAGADA) (CERCA DE 10KM).	58
9.3.1.	Cabo de fibra óptica	58
9.3.2.	Tubagem	58
9.3.3.	Caixas de pavimento exteriores	58
9.3.4.	Valas para assentamento de tubagem	58
<b>10.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL</b>	<b>59</b>
10.1.	REGULAMENTAÇÃO	59
10.2.	MATERIAIS E DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS	60
10.3.	VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA	61
10.3.1.	Ações	61
10.3.2.	Metodologia de cálculo	62
<b>11.</b>	<b>MEDIÇÕES E ESTIMATIVA ORÇAMENTAL</b>	<b>66</b>
<b>12.</b>	<b>PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS</b>	<b>67</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Resumo dos ensaios de compactação leve .....	11
Quadro 6.1 - Níveis de água à entrada do Sifão S1 .....	16
Quadro 6.2 – Perdas de carga no Sifão S1 - Cenário A. ....	19
Quadro 6.3 – Perdas de carga no Sifão S1 - Cenário B. ....	19

Quadro 6.4 – Cenário A, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão. .....	22
Quadro 6.5 – Cenário B, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão. .....	23
Quadro 6.6 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1 - Cenário 1, com consumos de percurso .....	25
Quadro 6.7 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1 - Cenário 2, sem consumos de percurso .....	26
Quadro 6.8 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação A .....	27
Quadro 6.9 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação A .....	27
Quadro 6.10 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação B .....	28
Quadro 6.11 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação B .....	28
Quadro 6.12 – Situações de adução ao R1 condicionada.....	29
Quadro 6.13 – Determinação do ângulo de abertura da válvula e perda de carga provocada ..	30
Quadro 7.1 – Deflexão angular e raios mínimos das condutas .....	36
Quadro 7.2 – Travessias de caminhos agrícolas .....	43
Quadro 7.3 – Travessias de linhas de água .....	44
Quadro 7.4 - Fatores de segurança ao deslizamento e derrubamento.....	46
Quadro 7.5 – Pesos volúmicos.....	46
Quadro 7.6 – Interação Solo-Estrutura.....	46
Quadro 8.1 – Câmaras de ventosa da Condução Adutora Gravítica – T1 .....	53
Quadro 8.2 – Principais características das câmaras de descarga de fundo.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 – Curvas dos ensaios de compactação.....	12
Figura 6.1 - Cenário A - Esquema funcionamento do sifão S1.....	18
Figura 6.2 – Cenário B - Esquema funcionamento do sifão S1. ....	18
Figura 6.3 - Cenário A. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante...21	
Figura 6.4 – Cenário B. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante. .21	
Figura 6.5 - Caudais aduzidos pelo adutor T1 em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, para os cenários extremos da sua exploração .....	31
Figura 6.6 – Ângulo de abertura da válvula de borboleta em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada .....	32
Figura 12.1 – Programa indicativo dos trabalhos a realizar .....	68



**EDIA - EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO E INFRA-ESTRUTURAS DO  
ALQUEVA, S.A.**

**PROJETO DE EXECUÇÃO E ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL  
DO CIRCUITO HIDRÁULICO DE REGUENGOS DE MONSARAZ E RESPETIVO  
BLOCO DE REGA**

**PROJETO DE EXECUÇÃO  
VOLUME 1 – LIGAÇÃO DA TOMADA DE ÁGUA AO RESERVATÓRIO DA BRAGADA  
TOMO 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa**

**CONTROLO DE VERSÕES**

Versão n.º	Data	Código
0	mar-19	16113-PE-GER-MDJ-019-V1T1-0



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Objetivos

O **Projeto de Execução da Ligação ao Reservatório da Bragada (R1)** surge no seguimento da revisão dos estudos desenvolvidos pela empresa Atlas Koechlin, que elaborou os estudos iniciais em fase de Nota Técnica.

Este documento tem como objetivo apresentar todos estudos desenvolvidos necessários ao correto estabelecimento da conceção geral da conduta adutora gravítica para ligação ao novo reservatório da Bragada (R1).

Neste tomo apresenta-se a memória descritiva e justificativa do projeto de execução, complementada com quadros, figuras, cálculos e resultados, indispensáveis à compreensão do texto.

As peças desenhadas de projeto são apresentadas no Tomo 1.2. O Mapa de Medições e a Estimativa Orçamental apresentam-se, respetivamente, no Tomo 1.3 e no Tomo 1.4.

Os respetivos estudos geológicos e geotécnicos são apresentados em detalhe no Volume 6 deste projeto.

### 1.2. Antecedentes

Na Fase de Nota Técnica, a Atlas Koechlin, em conjunto com a **EDIA**, estudaram várias alternativas de traçado do primeiro troço da conduta adutora do sistema primário, que estabelece a ligação entra a tomada de água do circuito hidráulico e a primeira infraestrutura de armazenamento, o reservatório R1 da Bragada, com vista à escolha da solução que melhor servisse os interesses da **EDIA** e da própria obra em causa.

No seguimento da cessão deste contrato, o Consórcio **PROCESL / TPF Planege Cenor** procedeu à análise dos estudos iniciais, e, em conjunto com a **EDIA**, à escolha de uma solução final para desenvolvimento em Projeto de Execução da obra de tomada de água e do primeiro troço (T1) da rede primária de adução, incluindo as travessias especiais do rio Degebe e da ribeira da Azambuja.

Na fase inicial dos trabalhos o Consórcio **PROCESL / TPF Planege Cenor** efetuou a revisão do traçado da conduta adutora gravítica, T1. Em função das alterações realizadas ao traçado, alterações essas que já tinham sido pré-definidas pela **EDIA**, observou-se a necessidade de realização de levantamentos topográficos complementares.

Com base no traçado definitivo da conduta adutora, e com a definição da localização das infraestruturas principais, procedeu-se à revisão do plano de prospeção geológica e geotécnica, e conseqüente realização dos trabalhos.

Após entrega da Versão Definitiva do Projeto de Execução em Agosto de 2018, a EDIA apresentou uma nova solução para a Obra de Tomada de Água do Circuito Hidráulico de Reguengos, solução essa desenvolvida pela empresa que se encontrava a elaborar o Projeto de Execução do Reforço dos Sifões da Ligação Álamos-Loureiro. Nessa Sequência, a solução antes definida pelo Consórcio Consultor PROCESL/TPF, e já aprovada pela EDIA, ficou sem efeito.

Assim, em conjunto com a EDIA, decidiu-se pela retirada da obra de tomada de água do Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz do presente Projeto de Execução, tendo-se definido o limite de empreitada no início do troço T1 da conduta adutora gravítica, imediatamente a jusante da câmara de medidor de caudal.

### **1.3. Organização do Documento**

O presente documento, referente ao Projeto de Execução da Ligação ao Reservatório da Bragada do Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz, para além da presente introdução, encontra-se organizado nos seguintes capítulos:

O presente capítulo 1 constitui uma breve introdução, na qual são definidos os objetivos do estudo;

- O capítulo 2 apresenta uma caracterização geral das infraestruturas que constituem o circuito hidráulico de Reguengos;
- No capítulo 3 faz-se uma análise das condições de funcionamento do canal Álamos-Loureiro;
- O Capítulo 4 apresenta a conceção geral da obra;
- No Capítulo 5 apresentam-se as principais considerações resultantes dos estudos geológico-geotécnicos;
- No capítulo 6 apresentam-se os estudos hidráulicos;
- No capítulo 7 apresenta-se o traçado e implantação da conduta adutora T1;
- No capítulo 8 são identificados e caracterizados os equipamentos hidromecânicos a instalar.
- O capítulo 9 apresenta as instalações elétricas preconizadas e o sistema de automação;
- No capítulo 10 são apresentados os elementos de dimensionamento estrutural;

- No capítulo 11 são apresentadas algumas considerações sobre as medições e estimativa orçamental; e
- No capítulo 12 apresenta-se um programa de trabalhos indicativo.

## 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CIRCUITO HIDRÁULICO DE REGUENGOS DE MONSARAZ

O Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz beneficia uma área total com cerca de 10 353 ha, localizada na margem direita do rio Guadiana, no Baixo Alentejo, sendo abrangido o distrito de Évora, concelhos de Reguengos de Monsaraz, Redondo, Évora e Portel. A área a beneficiar foi dividida em quatro blocos:

- **Bloco do Peral**, com uma área total de 1 315 ha, é servido a partir da conduta adutora gravítica que, com origem no canal Álamos-Loureiro, abastece o reservatório da Bragada (R1). Neste bloco predomina a grande propriedade;
- **Bloco da Vendinha**, com uma área total de 1 017 ha, é servido a partir do reservatório da Furada (R2). Este bloco apresenta uma estrutura em que predomina a grande propriedade;
- **Bloco de Montoito**, com uma área total de 2 310 ha, é servido a partir do adutor gravítico que parte do reservatório da Furada (R2) e que abastece também a albufeira da Vigia. Uma parte da área deste bloco, cerca de 652 ha, com cotas mais elevadas, é abastecida através da estação sobrepessora de Montoito. Neste bloco predominam as pequenas propriedades.
- **Bloco de Reguengos**, com uma área total de 5 711 ha, predomina a pequena propriedade, e é abastecido a partir do reservatório da Furada (R2). A área a Norte de Corval (Revilheira), cerca de 874 ha, é abastecida através da sobrepessora da Revilheira."

O circuito hidráulico de Reguengos inicia-se no canal que faz a interligação entre a barragem dos Álamos e a barragem do Loureiro adiante designado como canal Álamos/Loureiro e tem como objetivo transportar o caudal necessário para o bloco de rega de Reguengos e para o reforço do Perímetro da Vigia.

Este circuito compreende as seguintes componentes:

- Sistema Adutor Primário (extensão total com cerca de 23 km), que engloba:
  - Obra de derivação do canal Álamos-Loureiro (excluída desta empreitada);
  - Conduta adutora gravítica entre o canal Álamos-Loureiro e o reservatório da Bragada (R1), com uma extensão de 9,7 km em Aço revestido com PE e em betão armado com alma de aço, nos diâmetros de 2 000 mm e 1 800 mm.

- Reservatório da Bragada (R1) semi-escavado com NPA à cota 217,0 m e NmE à cota 213,0 m, com um volume útil de cerca de 60 000 m<sup>3</sup>.
- Estação elevatória da Bragada (EE1), anexa ao R1, equipada com 4 grupos eletrobomba de eixo horizontal, com caudal unitário de 900 l/s, caudal total 3 600 l/s e elevação manométrica de 45 m.c.a..
- Conduto elevatória entre a estação elevatória da Bragada (EE1), anexa ao R1, e o reservatório da Furada (R2) com diâmetro de 1 800 mm, em aço revestido com PE, numa extensão de 3,6 km.
- Reservatório da Furada (R2), semi-escavado com NPA à cota 253,0 m, NmE à cota 249,0 m e volume útil de cerca de 103 000 m<sup>3</sup> e com sistema de micro-tamisação (malha de 1,5 mm) na tomada de água para o troço T3 da rede primária de adução;
- Conduto adutora gravítica entre o reservatório da Furada (R2) e o ponto de entrega na albufeira da Vigia, em aço revestido com PE e FFD, com diâmetros entre os 2000 e 700 mm e extensão total de 9,6 km;
- Redes Secundárias de Rega (extensão total 103 km), que engloba:
  - Conduitas de distribuição gravíticas em betão pré-esforçado com alma de aço, FFD e PEAD, com diâmetros entre os 1600 mm e 110 mm.
  - 167 hidrantes (instalados na rede primária e na rede secundária) com 1 a 4 bocas de rega associadas (num total 377 bocas de rega) e caudal instalado variável, entre os 10 e 1500 m<sup>3</sup>/h.
  - Sistemas individuais de filtração a instalar em cada uma das derivações para a rede secundária de rega do sub-bloco 1.
  - Estação sobrepessora da Revilheira;
  - Estação sobrepessora das aldeias de Montoito

### **3. CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO CANAL ÁLAMOS-LOUREIRO**

#### **3.1. Caracterização Geral**

Os blocos de rega afetos ao Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz serão integrados no subsistema de Alqueva, o qual beneficia atualmente cerca de 63 910 ha (cerca de 53% da área total inicial do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva).

O circuito hidráulico do subsistema de Alqueva desenvolve-se a partir do Vale do Degebe, onde se localiza a estação elevatória dos Álamos, que eleva os caudais necessários, até ao máximo de 41,4 m<sup>3</sup>/s no horizonte de projeto, para a albufeira dos Álamos. A partir desta albufeira, através de diversas infraestruturas compostas por canais e túneis, faz-se a adução para a albufeira do Loureiro.

Através do canal Álamos-Loureiro, com cerca de 10,7 km de desenvolvimento, é feita a ligação à Barragem do Loureiro, de onde deriva o canal Loureiro - Monte Novo, com 24 km de comprimento, até à Barragem do Monte Novo. Para Sul, a partir da Barragem do Loureiro, desenvolve-se o Túnel Loureiro-Alvito, com 11 km de extensão, garantindo o abastecimento à Barragem de Alvito. É a partir da Barragem de Alvito que segue o Canal Alvito - Pisão, fazendo a ligação à Barragem do Pisão, continuando para jusante, através do Canal Pisão - Roxo até à Barragem do Roxo.

#### **3.2. Canal Álamos-Loureiro**

O Canal Álamos-Loureiro estabelece a ligação entre as albufeiras de Álamos e Loureiro, possuindo um desenvolvimento total de 10 697m, e tendo uma capacidade de transporte no horizonte de projeto de 37 m<sup>3</sup>/s.

É constituído por oito troços em canal aberto, com secção trapezoidal, três troços em canal retangular coberto e quatro sifões.

Os troços em canal aberto têm secção constante, independentemente de se tratar de secções em escavação, em aterro ou mistas.

Os troços em canal coberto, previstos para transpor elevações significativas e vales largos, têm secção útil constante, com dois vãos, cada um com 4,70 m de largura útil e 4,50 m de altura, com septo central.

Os quatro sifões (invertidos), com escoamento em pressão, foram concebidos para a transposição de vales.

O sifão S1, de maior comprimento (cerca de 1 350 m) e maior carga hidráulica, respeita ao atravessamento de dois vales consecutivos, um deles com maior largura.

Embora esteja previsto que este sifão venha a ser constituído por quatro tubagens paralelas com diâmetro interior de 2 500 mm (com tubos pré-fabricados de betão armado com alma de aço, instalados em vala) atualmente estão instaladas apenas duas dessas tubagens, uma vez que a **EDIA** optou por uma construção faseada do sifão, em função da evolução dos caudais solicitados.

No entanto, face ao aumento dos caudais a aduzir pelo canal em resultado da futura ligação ao circuito hidráulico de Reguengos de Monsaraz, de 4,0 m<sup>3</sup>/s, e em função do aumento da área em exploração do subsistema Alqueva, prevê-se que em breve seja necessário proceder ao aumento da capacidade de transporte do sifão com a instalação das restantes condutas, estando o projeto das mesmas já em execução.

#### 4. CONCEPÇÃO GERAL DA OBRA

O primeiro troço (T1) do Sistema Adutor Primário do Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz, estabelece a ligação entre a obra de derivação para o circuito hidráulico (obra de tomada de água, que será objeto de outra empreitada).

O Adutor T1 tem início na ligação à câmara do medidor de caudal, a construir com a obra de tomada de água, e, ao longo do seu percurso até ao reservatório da Bragada (R1) (Nó N08), alimenta o bloco de rega do Peral através de seis pontos de entrega (nós N02 a N07).

Os caudais fornecidos pela conduta adutora gravítica T1, à rede de rega do Peral, são os seguintes:

- N02 –  $Q = 290 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- N03 –  $Q = 260 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- N04 –  $Q = 480 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- N05 –  $Q = 715 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- N06 –  $Q = 430 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- N07 –  $Q = 1\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ .

O adutor possuirá um desenvolvimento total de cerca de 9 692 m, constituído por tubagem de aço com soldadura helicoidal, revestido exteriormente com polipropileno e interiormente com tintas epoxídicas, até ao km 7+448, e por tubagem de betão armado com alma de aço no restante percurso. O diâmetro do adutor será de 2,0 m até ao km 5+405 e de 1,8 m até à entrada no R1.

O adutor T1 irá funcionar em contínuo prevendo-se que, quando não houver solicitação de caudal nos pontos de entrega, o caudal de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  seja totalmente descarregado no reservatório R1, garantindo assim o enchimento deste último.

## **5. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS**

### **5.1. Considerações gerais**

No presente capítulo apresenta-se de forma resumida os trabalhos de prospeção realizados ao longo do troço T1 da conduta adutora gravítica, assim como os ensaios de laboratório executados sobre amostras remexidas colhidas no local.

Os boletins dos trabalhos de prospeção, a análise dos ensaios de laboratório realizados e a interpretação detalhada das condições geológico-geotécnicas são apresentados no Volume 6 – Estudo Geológico-Geotécnico.

### **5.2. Trabalhos de Prospeção Geotécnica e Ensaios**

A campanha de prospeção realizada ao longo do traçado da conduta adutora gravítica, foi constituída por sondagens à rotação nas zonas de atravessamento do rio Degebe e da ribeira da Azambuja S1 e S2), 29 perfis de refração sísmica (PS1-T1 a aPS11-T1, PS13-T1 a PS30-T1), 15 poços de reconhecimento e uma vala na zona de implantação da obra de tomada de água.

Sobre amostras remexidas colhidas nos poços de reconhecimento realizaram-se ensaios de laboratório de identificação, nomeadamente análises granulométricas e determinação do teor em água natural e dos limites de consistência. Realizaram-se ainda ensaios de compactação leve (Proctor normal).

De referir, que os perfis sísmicos de refração não foram realizados na sua totalidade âmbito desta fase de presente projeto, tendo sido feitos em 2016, numa fase anterior ao restante reconhecimento geológico, sob a gestão da empresa Atlas Koechlin. Os resultados destes trabalhos são apresentados nos desenhos respeitantes ao estudo geológico e geotécnico, conjuntamente com os restantes trabalhos de prospeção (ver Volume 6 do Projeto de Execução).

### **5.3. Resumo das Condições Geológicas e Geotécnicas**

#### **5.3.1. Trabalhos de Prospeção Mecânica**

No Quadro 4.1 apresenta-se a caracterização das sondagens realizadas nos locais de atravessamento do rio Degebe e da ribeira da Azambuja, nomeadamente a profundidade atingida, as formações que foram reconhecidas, a espessura do horizonte de terra vegetal e a profundidade a que foi detetado o nível freático.

**Quadro 4.1 – Caracterização das sondagens realizadas no local de atravessamento do rio Degebe e da ribeira da Azambuja**

Sondagem	Profundidade (m)	Formações reconhecidas	Espessura do horizonte de terra vegetal	Profundidade do nível de água (m)
S1	7,5	a e Mo	-	1,2
S2	7,5	a e Mo	-	0,9

a – Aluviões;

Mo – Formação de “Xistos de Moura”; filitos e micaxistos, ricos em quartzo, metapsamitos e quartzopelitos associados

No Quadro 4.2 apresentam-se os poços realizados no local de implantação do reservatório e as principais características identificadas nos mesmos.

**Quadro 4.2 – Características identificadas nos poços e vala realizados**

Poço	Profundidades	Formações reconhecidas	Espessura do horizonte de terra vegetal (m)	Profundidade do nível de água (m)
P1 a P15 e V1	1,3 a 3,0	a e Mo	0,1 a 1,0	Secos e 1,9

a – Aluviões;

Mo – Formação de “Xistos de Moura”; filitos e micaxistos, ricos em quartzo, metapsamitos e quartzopelitos associados

Todos os poços e a vala foram abertos com máquina retroescavadora, dispostos segundo as localizações previstas para cada uma das obras.

Nos poços foram atingidas profundidades compreendidas entre 1,2 e 2,9 m. Na vala que foi executada em duas vezes, com extensões da ordem dos 15m, foram atingidas profundidades entre 1,3 e 3,0 m.

Com os poços e valas procurou-se reconhecer a espessura do horizonte de terra vegetal, a litologia e estrutura das formações ocorrentes, as condições hidrogeológicas, as características de consistência e/ou compacidade e as respetivas condições de escavabilidade. Em alguns dos poços e valas foram colhidas amostras remexidas para serem submetidas a ensaios de laboratório.

**5.3.2. Ensaios laboratoriais**

No Quadro 4.3 resumem-se os resultados dos ensaios de identificação.

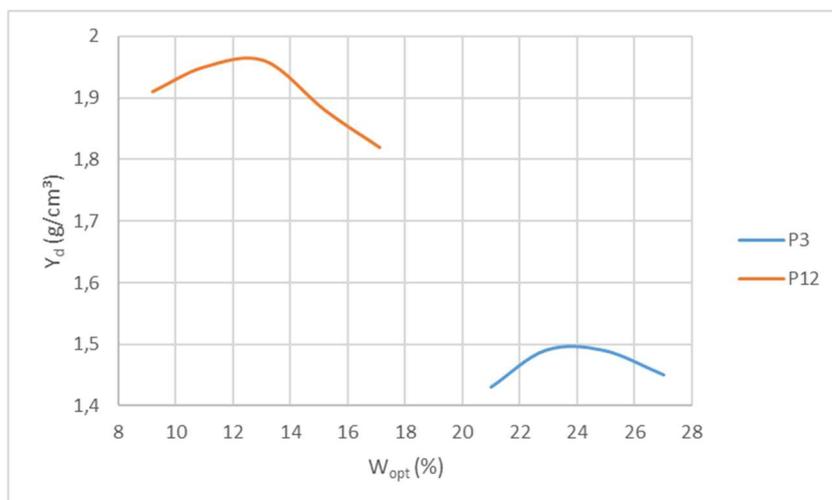
**Quadro 4.3 – Resumo dos resultados dos ensaios de identificação**

Poço	Profundidade (m)	Formação	w <sub>n</sub> (%)	Análise granulométrica			Limites de consistência		Classificações	
				>2mm (%)	2 - 0,074 mm (%)	<0,074 mm (%)	LL (%)	IP (%)	ASTM	AASHTO
P1	1,10-1,50	Mo**	7	40	40	20	25	9	SC	A-2-4 (0)
P2	1,30-1,70	Ø*	10	53	31	16	60	30	SC	A-2-7 (0)
P3	0,60-1,00	Ø*	25	62	27	11	49	11	GW-GM	A-2-7 (0)
P5	1,20-1,60	Mo**	8	54	30	16	39	18	SC	A-2-6 (0)
P7	1,10-1,50	Mo	11	50	22	28	42	23	GC	A-2-7 (2)
P10	2,10-2,50	Mo	13	32	55	13	28	13	SC	A-2-6 (0)
P11	0,50-0,90	a	7	46	29	25	25	9	GC	A-2-4 (0)
P12	0,50-0,90	Mo	12	40	26	34	28	9	SC	A-2-4 (0)
P14	1,00-1,40	Mo	7	45	33	22	31	9	SC	A-2-4 (0)

No Quadro 5.1 apresentam-se os resultados dos ensaios de compactação leve realizados. Neste quadro identifica-se a proveniência das amostras, as profundidades de colheita, a litologia e os valores do peso volúmico máximo ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) e do teor em água ótimo ( $w_{\acute{o}pt}$ ). Apresenta-se ainda os valores do peso volúmico seco ( $\gamma_d$ ) e do teor em água (w) para cada provete ensaiado, bem como o desvio do teor em água de cada provete em relação ao teor em água ótimo.

**Quadro 5.1 – Resumo dos ensaios de compactação leve**

Poço	Profundidade (m)	Litologia	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	w <sub>ópt.</sub> (%)	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	w (%)	w - w <sub>ópt.</sub>
P3	0,60-1,00	Ø*	1,50	23,7	1,43	21,0	-2,7
					1,49	22,9	-0,8
					1,49	24,9	+1,2
					1,45	27,0	+3,3
P12	0,50-0,90	Mo	1,96	12,3	1,91	9,2	-3,1
					1,95	11,0	-1,3
					1,96	13,1	+0,8
					1,88	15,2	+2,9
					1,82	17,1	+4,8



**Figura 5.1 – Curvas dos ensaios de compactação**

### 5.3.3. Condições de escavabilidade

Com os trabalhos de prospeção realizados foi possível reconhecer as formações que irão ser intercetadas pelas escavações das valas que serão necessárias efetuar para a implantação da tomada de água e da conduta adutora.

Nas zonas da tomada de água e da conduta adutora, admite-se que, para profundidades superiores a 3m, seja necessário recorrer pontualmente à utilização de meios pneumáticos potentes, para proceder ao desmonte de eventuais “núcleos” mais rijos que venham a ser encontrados em profundidade. Esta eventualidade poderá pôr-se, nas zonas dos perfis sísmicos PS8-T1 a PS11-T1; PS14-T1 a PS17-T1 e PS28-T1, onde se obtiveram velocidades de propagação das ondas sísmicas longitudinais da ordem de 1500 m/s para profundidades superiores a 3 m.

Há ainda a referir, que a conduta adutora T1 vai intercetar duas zonas de linhas de água (rio Degebe e ribeira da Azambuja) sensivelmente aos km 6+550 e km 5+900, que irão atravessar duas zonas aluvionares, constituídas por solos argilo-siltosos e areno-siltosos, por vezes com calhaus e seixos rolados. Nestas formações as escavações poderão ser realizadas com meios mecânicos correntes devendo, no entanto, ter-se em atenção, de que se trata de duas zonas onde o nível freático está muito próximo da superfície. Esta situação irá obrigar a que ambas as escavações tenham de ser realizadas durante a época seca e ao abrigo de ensecadeiras a executar para o efeito, de ambos os lados da vala a escavar, associadas ainda a uma bombagem permanente para manter a zona a seco. Subjacentes às aluviões, ocorre o substrato rochoso constituído por xistos medianamente alterados (W<sub>3</sub>) mas muito fraturados

(F<sub>4-5</sub>), onde se admite que as escavações tenham de ser realizadas com recurso a meios pneumáticos potentes.

#### 5.3.4. Inclinação de taludes

Atendendo às características litológicas, estruturais e hidrogeológicas das formações ocorrentes, às alturas das escavações a realizar e ainda ao facto de todos os taludes, serem provisórios, pois destinam-se à abertura de valas para a colocação das condutas, recomenda-se que sejam adotadas as seguintes inclinações:

- a) Solos argilo-siltosos e argilo-arenosos (de alteração das formações sedimentares – PQ e Ø): 1V/1H
- b) Solos argilo-siltosos (de alteração das formações metamórficas – Ba, Os e Mo): 1V/1H
- c) Solos areno-siltosos (saibros de alteração das formações eruptivas –  $\delta$ ,  $\gamma\Delta$  e  $\gamma\Delta Z$ ): 1V/1H
- d) Rochas Sedimentares brandas constituídas por grés conglomeráticos e calcários margosos pertencentes às formações - PQ e Ø: 2V/1H
- e) Rochas Metamórficas constituídas essencialmente por xistos pertencentes às formações - Ba, Os e Mo: 3V/1H
- f) Rochas Eruptivas constituídas essencialmente por doleritos, granodioritos e tonalitos e dioritos pertencentes às formações -  $\delta$ ,  $\gamma\Delta$  e  $\gamma\Delta Z$ : 3V/1H

Considerou-se que para estas inclinações os taludes provisórios serão estáveis enquanto forem executadas as obras. No entanto, no caso dos taludes em solos, deverá procurar-se que estes fiquem o menor tempo possível expostos, para se evitarem eventuais instabilizações localizadas, principalmente se ocorrerem períodos de chuvas intensas. Recomenda-se, por isso, que a abertura das valas seja realizada por troços, com comprimentos máximos da ordem dos 25 m, devendo estas ser aterradas logo após a colocação das condutas.

#### 5.4. Condições gerais de fundação

##### 5.4.1. Conduta Adutora

Ao longo do traçado da conduta adutora T1, serão atravessadas formações pertencentes aos “Xistos de Moura” (que constituem o substrato) nos cerca de 1 450m iniciais e 5 950m finais e formações do Miocénico e Paleogénico indiferenciadas, sensivelmente a meio do seu traçado, numa extensão de cerca de 2 300m.

As formações do Miocénico e do Paleogénico indiferenciadas que se encontram sobrejacentes à formação dos “Xistos de Moura” são constituídas por grés, argilas e calcários e por vezes, calcários com seixos argilosos. Trata-se de depósitos geralmente medianamente compactos

e/ou de média consistência, relativamente fiáveis e que se transformam rapidamente em solos quando expostos. Relativamente à formação do substrato, esta é constituída por filitos e micaxistos, ricos em quartzo, metapsamitos e por vezes anfíbolitos associados, quase sempre muito alterados a decompostos ( $W_{4-5}$ ) e muito fraturados ( $F_5$ ). Esta formação encontra-se geralmente transformada num solo argiloso envolvendo pequenos fragmentos e blocos de xisto até cerca dos 1,5 a 2m de profundidade. Abaixo destas profundidades o maciço apresenta-se mais compacto e resistente e menos alterado ( $W_{4-3}$ ) embora continue muito fraturado. Em zonas localizadas, podem, no entanto, ocorrer alguns “núcleos” rochosos mais conservados.

Quer os solos, quer os xistos menos alterados, apresentam consistência muito dura a rija a partir de 1,5 a 2m de profundidade, pelo que têm condições de fundação adequadas para o assentamento da conduta, não se prevendo por isso quaisquer problemas para esta obra.

#### **5.4.2. Atravessamento do rio Degebe e da ribeira da Azambuja**

Em ambas as zonas serão atravessadas formações aluvionares constituídas por solos argilo-siltosos e areno-siltosos, por vezes com calhaus e seixos rolados até cerca de 3 m de profundidade. Estas formações têm ainda a particularidade de se encontrarem saturadas devido ao nível freático estar muito próximo da superfície.

Subjacente às aluviões ocorre a formação de “Xistos de Moura”, que corresponde ao substrato, que é constituído por filitos e micaxistos, ricos em quartzo, metapsamitos e por vezes ortoanfíbolitos associados. Em ambos os locais esta formação encontra-se medianamente alterada ( $W_3$ ) mas muito fraturada ( $F_{5-4}$ ), constituindo, por isso, um caminho preferencial para a percolação das águas.

Nas sondagens S1 e S2 realizadas para o reconhecimento dos locais de atravessamento destas duas linhas de água, foram intercetados solos aluvionares até cerca dos 3m. Estes solos apresentam-se medianamente compactos com valores de  $N_{SPT}$  entre 10 e 48. O substrato que é constituído essencialmente por filitos e micaxistos, caracteriza-se por se apresentar muito compacto, com valores de  $N_{SPT} > 60$ , e recuperações R entre 15 e 100% e RQD entre 10 e 65% a partir dos 3 m de profundidade.

Nestas condições, para que seja possível realizar as escavações para a passagem da conduta adutora T1 abaixo do nível freático, haverá que prever a execução ensecadeiras de ambos os lados da vala e efetuar, as quais deverão intercetar a camada das cascalheiras, com alguma largura, de modo a aumentar o caminho de percolação das águas e deste modo permitir a realização da vala. Para além destas ensecadeiras, será também necessário prever a utilização de meios de bombagem em permanência, durante a sua realização de modo a se poder controlar o acesso da água à zona a escavar.

Abaixo dos 3m de profundidade, o maciço rochoso apresenta-se muito compacto não levantando problemas à fundação desta conduta.

Apesar de se considerar que a maior parte de extensão da conduta será fundada no maciço rochoso, existe ainda assim, a possibilidade de na zona central da linha de água (numa largura que deverá ser muito limitada) a espessura das aluviões ser superior a 3m. Nestas circunstâncias, onde for detetada uma espessura de aluviões mais elevada, que não permita o seu saneamento total, preconiza-se a realização de uma sobre escavação no fundo da vala, de cerca de 0,4 a 0,5m e a colocação de um agregado britado de granulometria extensa para servir de leito de fundação à conduta.

## 6. ESTUDOS HIDRÁULICOS

### 6.1. Determinação do caudal a Derivar

#### 6.1.1. Condições de Fronteira

O dimensionamento hidráulico da Adutor T1 do Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz foi efetuado tendo em consideração as seguintes condições de fronteira:

- Adução de um caudal de 4,0 m<sup>3</sup>/s ao Circuito de Reguengos;
- Segundo o projeto de execução do Canal Álamos-Loureiro, fornecido pela EDIA, o dimensionamento do Canal foi efetuado para os seguintes valores limite de caudal:
  - Caudal máximo a derivar para a albufeira do Loureiro é de 37 m<sup>3</sup>/s;
  - Em situação extrema, o caudal mínimo derivar da albufeira dos Álamos é de 10 m<sup>3</sup>/s.

Foi para estes valores de caudal que se determinaram as alturas máxima e mínima de água no canal a montante do sifão S1 e, conseqüentemente, os valores extremos da cota piezométrica na ligação ao Adutor T1.

Foram analisados dois cenários, um sem regulação do nível de água na entrada do sifão, em que as comportas de saída do sifão S1 estão totalmente abertas, e outro com regulação no nível de água na entrada do sifão por parcialização das comportas de saída.

Conforme se justifica no Anexo I.1, os níveis de água à entrada do Sifão S1 serão os seguintes, com e sem regulação:

**Quadro 6.1 - Níveis de água à entrada do Sifão S1**

Caudal aduzido (m <sup>3</sup> /s)	Regulação das Comportas	Cota do Nível de Água (-)
37,0	Não	224,99
14,0	Não	223,62
37,0 a 14,0	Sim	224,99

#### 6.1.2. Cotas Piezométricas na derivação para o circuito de Reguengos

##### 6.1.2.1. Perdas de carga

Para a determinação dos valores das cotas piezométricas na derivação para o circuito de Reguengos foi necessário determinar as perdas de carga que ocorrem ao longo do sifão até à derivação.

O cálculo das perdas de carga no sifão é apresentado no Anexo I.1 e foi efetuado admitindo diferenças entre o caudal que se escoia em cada uma das tubagens do sifão devido à derivação de um caudal de 4 m<sup>3</sup>/s para o Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz.

Foram consideradas os seguintes critérios:

- o comprimento dos sifões corresponde à distância em planta entre a secções inicial e final, respetivamente, das estruturas de entrada e saída;
- os valores do coeficiente de perda de carga nas secções de entrada e de saída englobam as perdas de carga nas transições e nas grelhas;
- desprezaram-se as perdas de carga nas secções de derivação para a descargas de fundo e para a estrutura de arejamento.

A perda de carga unitária ao longo das tubagens que constituem o sifão foi calculada pela fórmula de Colebrook White, considerando que o valor da viscosidade cinemática da água é 1,01x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s (correspondente a uma temperatura da água de 20º C) e que a rugosidade absoluta considerada é de 0,3 mm nas condutas de betão com alma de aço.

As perdas de carga localizadas nas diversas singularidades foram calculadas a partir da seguinte fórmula:

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

em que, K é o fator de perda de carga da singularidade (-), v é a velocidade média do escoamento (m/s) e g é aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>). O detalhe dos cálculos é apresentado no **Anexo I.1**.

A determinação das perdas de carga no sifão foi realizada para as duas situações extremas em termos de caudal aduzido pelo canal Álamos-Loureiro, as quais se traduzirão também nas duas situações extremas de valor das perdas de carga:

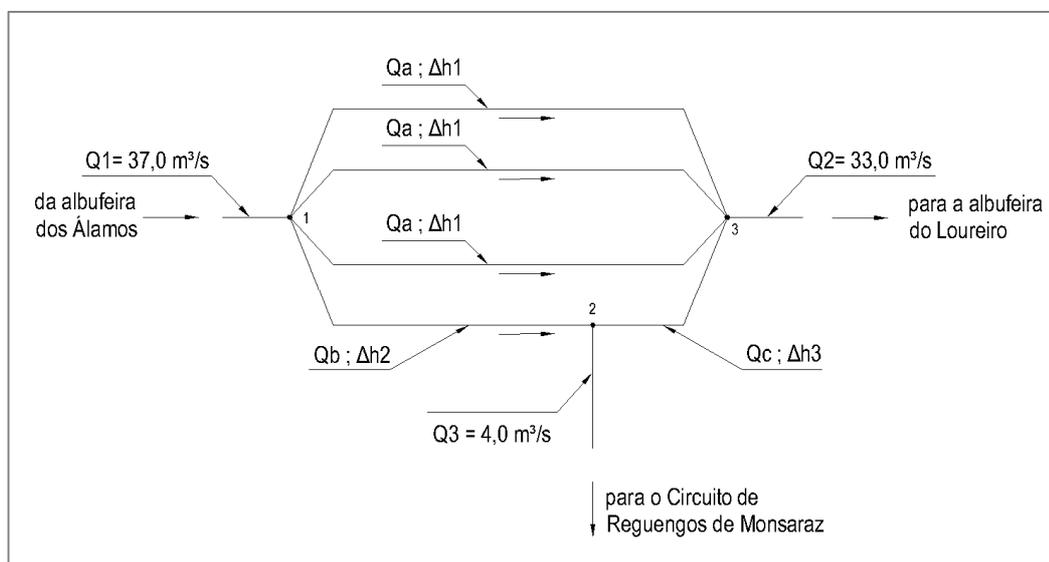
- Cenário A: Para o caudal máximo de 37,0 m<sup>3</sup>/s
- Cenário B: Para o caudal mínimo de 14,0 m<sup>3</sup>/s

e admitindo a derivação de 4,0 m<sup>3</sup>/s para o Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz.

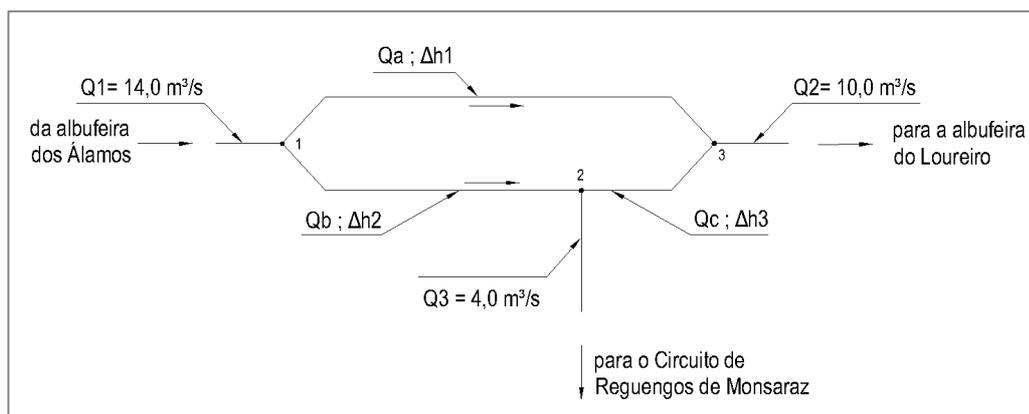
Admitiu-se que para o Cenário A estarão em funcionamento as quatro condutas do sifão (Figura 6.1) e que para o Cenário B estarão em funcionamento apenas duas daquelas condutas (Figura 6.2 ).

A determinação das perdas de carga em cada um destes cenários foi obtida a partir da distribuição do caudal pelas condutas, por equilíbrio de caudais e de cotas piezométricas nos nós, e considerando as seguintes hipóteses simplificativas:

- A cota do nível de água na estrutura de entrada do sifão é equivalente à cota da altura de água em regime de escoamento uniforme na secção do canal imediatamente a montante do sifão;
- A cota do nível de água na estrutura de saída do sifão é equivalente à cota da altura de água em regime de escoamento uniforme na secção do canal imediatamente a jusante do sifão.



**Figura 6.1 - Cenário A - Esquema funcionamento do sifão S1.**



**Figura 6.2 – Cenário B - Esquema funcionamento do sifão S1.**

Obtiveram-se assim nos diferentes troços das condutas a seguinte distribuição de caudais e respetivos valores de perda de carga e expressões de perda:

**Quadro 6.2 – Perdas de carga no Sifão S1 - Cenário A.**

Conduto/troço	Características gerais					Coeficientes de perda de carga		Perdas de carga			Expressão de Perdas de Carga
	Di (m)	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Continua (m/m)	Localizada, K (-)	Δhcont. (m)	Δhlocal. (m)	ΔhTotal (m)	
nº 1, 2, 3 Troço 1-3	2.50	4.91	1332.50	9.213	1.88	0.00092	1.194	1.221	0.214	1.435	$\Delta H_1 = 0.0169 \times Q^2$
nº 4 Troço 1-2	2.50	4.91	1212.50	9.362	1.91	0.00095	0.651	1.146	0.121	1.267	$\Delta H_2 = 0.0145 \times Q^2$
nº 4 Troço 2-3	2.50	4.91	120.00	5.362	1.09	0.00032	2.131	0.038	0.130	0.167	$\Delta H_3 = 0.0058 \times Q^2$

**Quadro 6.3 – Perdas de carga no Sifão S1 - Cenário B.**

Conduto/troço	Características gerais					Coeficientes de perda de carga		Perdas de carga			Expressão de Perdas de Carga
	Di (m)	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Continua (m/m)	Localizada, K (-)	Δhcont. (m)	Δhlocal. (m)	ΔhTotal (m)	
nº 1 Troço 1-3	2.50	4.91	1332.50	6.916	1.41	0.00052	1.194	0.693	0.121	0.814	$\Delta H_1 = 0.0170 \times Q^2$
nº 2 Troço 1-2	2.50	4.91	1212.50	7.084	1.44	0.00055	0.651	0.662	0.069	0.731	$\Delta H_2 = 0.0146 \times Q^2$
nº 2 Troço 2-3	2.50	4.91	120.00	3.084	0.63	0.00011	3.512	0.013	0.071	0.084	$\Delta H_3 = 0.0088 \times Q^2$

### 6.1.2.2. Cotas Piezométricas

#### 6.1.2.2.1 - Hipóteses de funcionamento analisadas

Para a determinação das cotas piezométricas máxima e mínima na derivação para o circuito de Reguengos foram admitidas duas hipóteses de funcionamento:

- Uma, em que as comportas da obra de saída do Sifão estão totalmente abertas, pelo que não há controlo do nível de água a montante do sifão;
- Outra, em que a abertura das comportas da obra de saída do Sifão é parcializada de modo a permitir controlar o nível de água na obra de entrada do sifão S1 para um nível constante correspondente ao nível máximo de funcionamento no canal Álamos-Loureiro, ou seja, a cota 224,99 (ver secção 6.1.1).

#### 6.1.2.2.2 - Sem controlo de nível no sifão

Nesta situação, a cota piezométrica na derivação é obtida pela subtração do valor de perda carga associada à derivação de 4,0 m<sup>3</sup>/s e da perda de carga que se verifica no troço da

conduta do sifão a montante da derivação (ver quadros do capítulo anterior, troço 1-2), à cota do nível de água na obra de entrada no sifão.

Para a determinação da perda de carga que ocorre na entrada de caudal na conduta de derivação recorreu-se ao diagrama 7.25 do “*Memento des Pertes de Charge*” – I.E IDEL’CIK, a partir do qual é possível determinar o coeficiente de perda de carga na derivação em função do ângulo da derivação (90°) e das velocidades do escoamento nas diferentes secções para cada um dos cenários analisados na secção anterior.

Assim, obtiveram-se os seguintes coeficientes de perda de carga associados à derivação de 4,0 m<sup>3</sup>/s:

- Cenário A:  $K = 2,51$ ;
- Cenário B:  $K = 1,59$ .

A conduta de derivação tem 1,8 m de diâmetro pelo que a velocidade do escoamento será de 1,57 m/s, obtendo-se assim um valor da perda de carga de 0,32 m no Cenário A e de 0,20 m no Cenário B.

Deste modo, as cotas piezométricas na derivação para o circuito de Reguengos serão as seguintes:

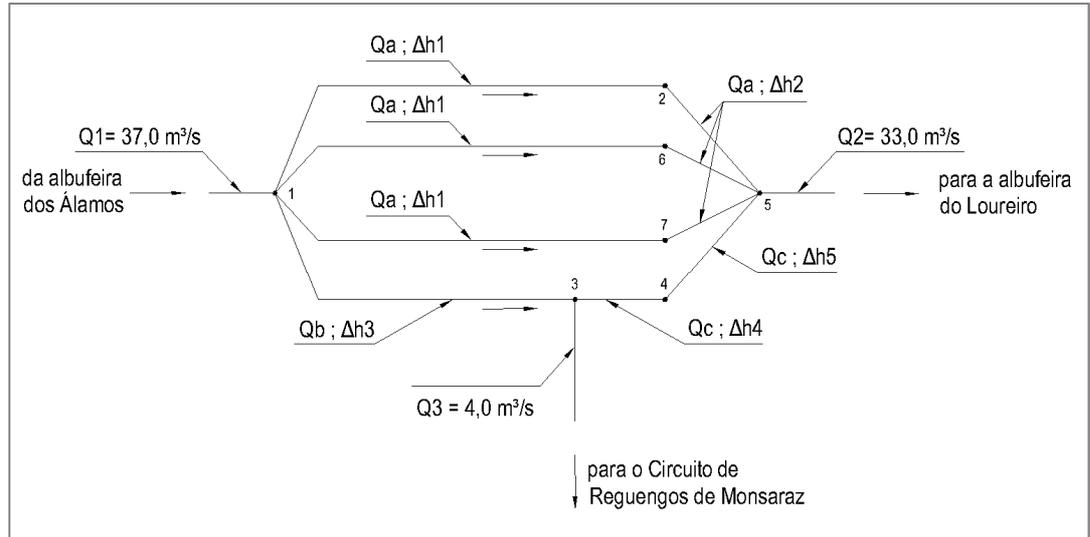
- Cenário A: Cota piezométrica=  $224,99 - 1,267 - 0,32 = 223,40$ ;
- Cenário B: Cota piezométrica=  $223,62 - 0,731 - 0,20 = 222,69$ .

#### **6.1.2.2.3 - Com controlo de nível no sifão**

Nesta situação, a regulação do nível de água na obra de entrada do sifão é conseguida através da parcialização da abertura das comportas, a qual é condicionada por dois aspetos:

- Para maior eficácia na exploração do sistema, as comportas que estiverem em serviço deverão apresentar o mesmo grau de abertura;
- Para evitar o desgaste prematuro das comportas e respetivas juntas, não deve ser considerado um valor de parcialização inferior a 20%, ou seja, tendo em consideração que a abertura total da comporta corresponde a uma área de 2,9 x 3,70 m<sup>2</sup>, a área da secção parcializada não deverá ser inferior a 2,15 m<sup>2</sup>.

Tendo em consideração as referidas limitações, determinaram-se as condições extremas de operação das comportas para os cenários acima definidos, os quais que se esquematizam nas figuras seguintes.

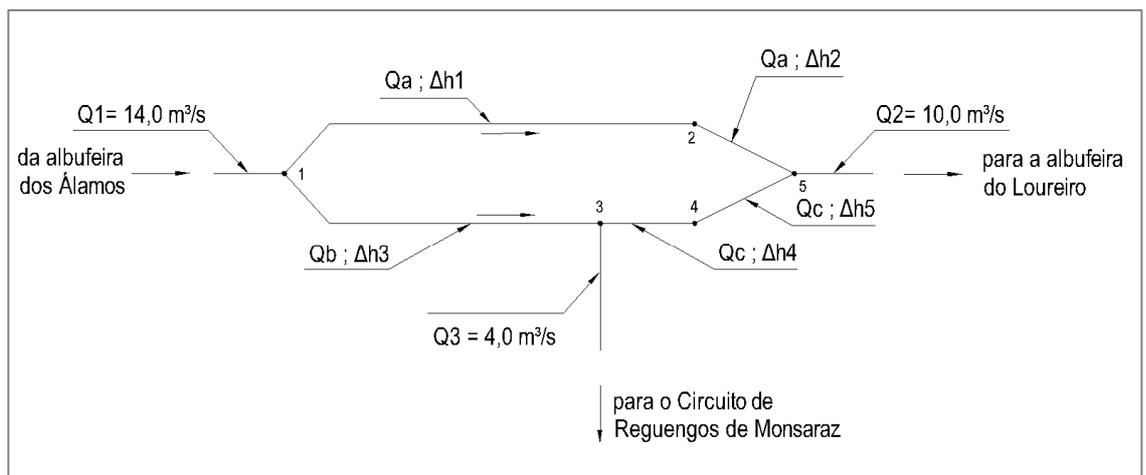


**Figura 6.3 - Cenário A. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante.**

Os Nós 1 e 5 correspondem, respetivamente, às estruturas de entrada e de saída do sifão 1.

O Nó 3 corresponde à derivação para o circuito hidráulico de Reguengos de Monsaraz.

Os Nós 2, 4, 6 e 7 correspondem às comportas que irão a regular o nível de água na obra de saída do sifão 1.



**Figura 6.4 – Cenário B. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante.**

A determinação da cota piezométrica na derivação para o Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz foi efetuada à semelhança do cálculo realizado na determinação das perdas de carga, a partir da distribuição do caudal pelas condutas obtida pelo equilíbrio de caudais e de cotas piezométricas nos nós, tendo por base as expressões de perda de carga determinadas em 6.1.2.1.

**Quadro 6.4 – Cenário A, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão.**

Conduta / troço		Caudal (m <sup>3</sup> /s)			Abertura da comporta (m <sup>2</sup> )	Perda de carga (m)				
		Qa	Qb	Qc		$\Delta h_1$	$\Delta h_2$	$\Delta h_3$	$\Delta h_4$	$\Delta h_5$
Nº1	1-2	9.03	-	-	-	1.33	-	-	-	-
	2-5	9.03	-	-	6.85	-	0.25	-	-	-
Nº2	1-6	9.03	-	-	-	1.33	-	-	-	-
	6-5	9.03	-	-	6.85	-	0.25	-	-	-
Nº3	1-7	9.03	-	-	-	1.33	-	-	-	-
	7-5	9.03	-	-	6.85	-	0.25	-	-	-
Nº4	1-3	-	9.90	-	-	-	-	1.40	-	-
	3-4	-	-	5.90	-	-	-	-	0.072	-
	4-5	-	-	5.90	6.85	-	-	-	-	0.11

Assim, para o Cenário A, a cota piezométrica a montante da derivação é obtida pela subtração do valor de perda carga que se verifica no troço da conduta do sifão a montante da derivação,  $\Delta h_3$ , à cota do nível de água na obra de entrada no sifão, ou seja,  $224,99 - 1,40 = 223,59$ , sendo necessária a parcialização da secção das comportas em 64%.

No Cenário B, de modo respeitar o valor mínimo de 20% de parcialização da abertura da comporta, será necessário que a conduta que possui a derivação escoe apenas o caudal de 4 m<sup>3</sup>/s para o circuito de Reguengos, enquanto que o escoamento do caudal de 10 m<sup>3</sup>/s para a albufeira do Loureiro será assegurado apenas por uma das outras condutas do sifão. Para tal, a comporta de jusante da conduta com derivação deverá estar fechada e na outra conduta a abertura da comporta deverá ser parcializada em 29%.

**Quadro 6.5 – Cenário B, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão.**

Conduta / troço		Caudal (m <sup>3</sup> /s)			Abertura da comporta (m <sup>2</sup> )	Perda de carga (m)				
		Qa	Qb	Qc		Δh1	Δh2	Δh3	Δh4	Δh5
Nº1	1-2	10.0	-	-	-	1.69	-	-	-	-
	2-5	10.0	-	-	3.16	-	1.42	-	-	-
Nº4	1-3	-	4.0	-	-	-	-	0.23	-	-
	3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Assim, para o Cenário B, a cota piezométrica a montante da derivação é obtida pela subtração do valor de perda carga que se verifica no troço da conduta do sifão a montante da derivação, Δh<sub>3</sub>, à cota do nível de água na obra de entrada no sifão, ou seja, 224,99 - 0,23 = 224,76.

## 6.2. Conduta Adutora Gravítica - T1

### 6.2.1. Considerações Gerais

O dimensionamento hidráulico do Adutor T1 foi realizado de forma a garantir o abastecimento de água, em situação de ponta, a todos os nós do circuito hidráulico o que corresponde à adução de um caudal de 4 m<sup>3</sup>/s.

O dimensionamento foi realizado para as seguintes situações de funcionamento:

- Cenário 1: admitindo consumos de percurso ao longo do adutor;
- Cenário 2: sem consumos de percurso ao longo do adutor.

As condições de fronteira do Adutor T1 são as seguintes:

- A montante,
  - Situação A – Sem controlo de nível no Sifão S1 (ver Anexo I.1):
    - Cota piezométrica máxima na derivação: 223,40
    - Cota piezométrica mínima na derivação: 222,69
  - Situação B – Com controlo de nível no Sifão S1 (ver Anexo I.1):
    - Cota piezométrica máxima na derivação: 224,76

- Cota piezométrica mínima na derivação: 223,59
- A jusante:
  - Nível máximo de água no reservatório, NPA = 217,0
  - Nível mínimo de água no reservatório, NmE = 213,0

Os resultados do cálculo são apresentados no **Anexo I.2**.

No **Desenho 202** representam-se graficamente as linhas de energia para os seguintes regimes de escoamento:

- **Regime Dinâmico** - para o nível mínimo de exploração (NmE) no R1, consumos nas redes secundárias e nível mínimo de água na obra de entrada do sifão S1;
- **Regime Estático** - para o nível de pleno armazenamento (NPA) no R1, ausência de consumos nas redes secundárias e nível máximo de água na obra de entrada do sifão S1;
- **Regime de Ensaio** - obtido por  $1,5 \times P_{\text{máx}}$  para cada troço.

As pressões nominais da tubagem foram determinadas pela pressão obtida pela linha de energia do regime de ensaio.

### 6.2.2. Perdas de carga

Calcularam-se as perdas de carga ao longo do Adutor, tendo em conta a perdas de carga contínuas e localizadas.

A perda de carga unitária ao longo das tubagens que constituem a tomada de água e o adutor foi calculada pela fórmula de Colebrook-White, considerando que o valor da viscosidade cinemática é  $1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (correspondente a uma temperatura da água de 20º C) e que a rugosidade absoluta considerada é de 0,05 mm nas condutas de aço revestido e de 0,3 mm nas condutas de betão.

As perdas de carga localizadas nas diversas singularidades foram calculadas a partir da seguinte fórmula:

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

em que,  $K$  é o fator de perda de carga da singularidade (-),  $v$  é a velocidade média do escoamento (m/s) e  $g$  é aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

No Anexo I.2 são apresentados os cálculos das perdas de carga.

Os valores obtidos para os dois cenários de dimensionamento (com e sem consumo de percurso) são apresentados nos quadros seguintes:

**Quadro 6.6 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1 - Cenário 1, com consumos de percurso**

Elemento	Troço		Características gerais				Coeficientes de perdas de carga		Perdas de carga		
			Di (m)	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Continuas (m/m)	Localizadas (K) (-)	h <sub>c</sub> (m)	h <sub>s</sub> (m)	h <sub>T</sub> (m)
Tomada de Água	N00	N00.1	1,80	14,00	4,000	1,57	0,00081	1,748	0,011	0,220	0,231
	N00.1	N01	2,00	1,45	4,000	1,27	0,00047	0,000	0,001	0,000	0,001
Adutor T1	N01	N02	2,00	1112,05	4,000	1,27	0,00047	0,109	0,502	0,009	0,510
	N02	N03	2,00	553,94	3,919	1,25	0,00046	0,000	0,240	0,000	0,240
	N03	N04	2,00	502,11	3,847	1,22	0,00044	0,098	0,210	0,007	0,218
	N04	N05	2,00	1929,77	3,714	1,18	0,00041	0,000	0,756	0,000	0,756
	N05	N06	2,00	1320,95	3,515	1,12	0,00037	0,001	0,466	0,000	0,466
	N06	N06.13	1,80	2061,18	3,396	1,33	0,00059	0,306	1,150	0,028	1,178
	N06.13	N07	1,80	293,15	3,396	1,33	0,00069	0,000	0,203	0,000	0,203
	N07	N08	1,80	1941,61	3,007	1,18	0,00055	1,285	1,060	0,091	1,151
<b>Δh Total</b>									<b>4,598</b>	<b>0,356</b>	<b>4,954</b>

**Quadro 6.7 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1 - Cenário 2, sem consumos de percurso**

Elemento	Troço		Características gerais				Coeficientes de perdas de carga		Perdas de carga		
			Di (m)	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Continuas (m/m)	Localizadas (K) (-)	h <sub>c</sub> (m)	h <sub>s</sub> (m)	h <sub>T</sub> (m)
Tomada de água	N00	N00.1	1,80	14,00	4,00	1,57	0,00081	1,748	0,011	0,220	0,231
	N00.1	N01	2,00	1,45	4,00	1,27	0,00047	0,000	0,001	0,000	0,001
Adutor T1	N01	N02	2,00	1112,05	4,00	1,27	0,00047	0,109	0,502	0,009	0,510
	N02	N03	2,00	553,94	4,00	1,27	0,00047	0,000	0,250	0,000	0,250
	N03	N04	2,00	502,11	4,00	1,27	0,00047	0,098	0,226	0,008	0,235
	N04	N05	2,00	1929,77	4,00	1,27	0,00047	0,000	0,870	0,000	0,870
	N05	N06	2,00	1320,95	4,00	1,27	0,00047	0,001	0,596	0,000	0,596
	N06	N06.13	1,80	2061,18	4,00	1,57	0,00081	0,306	1,571	0,039	1,609
	N06.13	N07	1,80	293,15	4,00	1,57	0,00096	0,000	0,280	0,000	0,280
	N07	N08	1,80	1941,61	4,00	1,57	0,00096	1,295	1,857	0,163	2,019
<b>Δh Total</b>									<b>6,164</b>	<b>0,439</b>	<b>6,602</b>

### 6.2.3. Dimensionamento

A partir dos caudais de dimensionamento e das condições de fronteira, efetuou-se o dimensionamento do sistema adutor primário, do qual resultaram os valores constantes dos quadros seguintes onde são apresentadas as cotas piezométricas de chegada ao reservatório da Bragada (Nó N08), para as duas situações limite da cota piezométrica a montante (ver Anexo I.1):

- S(i) - Adução de 37,0 m<sup>3</sup>/s a partir da albufeira dos Álamos
- S(ii) - Adução de 14,0 m<sup>3</sup>/s a partir da albufeira dos Álamos

**Quadro 6.8 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação A**

Elemento	Nó	Q (m <sup>3</sup> /s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
				S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	4,000	-	223,40	222,69
	N00.1	4,000	0,231	223,17	222,46
Adutor T1	N01	4,000	0,001	223,17	222,46
	N02	4,000	0,510	222,66	221,95
	N03	3,919	0,240	222,42	221,71
	N04	3,847	0,218	222,20	221,49
	N05	3,714	0,756	221,44	220,73
	N06	3,515	0,466	220,98	220,27
	N06.13	3,396	1,178	219,80	219,09
	N07	3,396	0,203	219,60	218,89
	N08	3,007	1,151	218,45	217,74

**Quadro 6.9 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação A**

Elemento	Nó	Q (m <sup>3</sup> /s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
				S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	4,000	-	223,40	222,69
	N00.1	4,000	0,231	223,17	222,46
Adutor T1	N01	4,000	0,001	223,17	222,46
	N02	4,000	0,510	222,66	221,95
	N03	4,000	0,250	222,41	221,70
	N04	4,000	0,235	222,17	221,46
	N05	4,000	0,870	221,30	220,59
	N06	4,000	0,596	220,71	220,00
	N06.13	4,000	1,609	219,10	218,39
	N07	4,000	0,280	218,82	218,11
	N08	4,000	2,019	216,80	<b>216,09</b>

**Quadro 6.10 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação B**

Elemento	Nó	Q (m³/s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
				S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	4,000	-	223,59	224,76
	N00.1	4,000	0,231	223,36	224,53
Adutor T1	N01	4,000	0,001	223,36	224,53
	N02	4,000	0,510	222,85	224,02
	N03	3,919	0,240	222,61	223,78
	N04	3,847	0,218	222,39	223,56
	N05	3,714	0,756	221,63	222,80
	N06	3,515	0,466	221,17	222,34
	N06.13	3,396	1,178	219,99	221,16
	N07	3,396	0,203	219,79	220,96
	N08	3,007	1,151	218,64	<b>219,81</b>

**Quadro 6.11 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação B**

Elemento	Nó	Q (m³/s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
				S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	4,000	-	223,59	224,76
	N00.1	4,000	0,231	223,36	224,53
Adutor T1	N01	4,000	0,001	223,36	224,53
	N02	4,000	0,510	222,85	224,02
	N03	4,000	0,250	222,60	223,77
	N04	4,000	0,235	222,36	223,53
	N05	4,000	0,870	221,49	222,66
	N06	4,000	0,596	220,90	222,07
	N06.13	4,000	1,609	219,29	220,46
	N07	4,000	0,280	219,01	220,18
	N08	4,000	2,021	216,99	<b>218,16</b>

Conforme é possível constatar pelos valores determinados, é apenas no Cenário 2 de qualquer uma das situações A ou B que o valor da cota piezométrica no nó N08 é inferior à cota do NPA

do reservatório de Bragada. Isto significa que para cotas do nível de água no reservatório superiores às seguintes, o caudal aduzido será inferior a 4 m<sup>3</sup>/s:

**Quadro 6.12 – Situações de adução ao R1 condicionada**

Cenário / Situação	Cota do Nível de Água no R1	
	S(i)	S(ii)
2 / A	216,80	216,09

#### 6.2.4. Dimensionamento do Órgão de Regulação de Caudal

A regulação de caudal a realizar na tomada de água para o Adutor T1 deverá assegurar a adução de um caudal constante de 4,0 m<sup>3</sup>/s.

Para regulação do caudal a aduzir ao reservatório da Bragada, considerou-se a instalação de uma válvula de borboleta de construção concêntrica DN 1 800 mm. Esta válvula será instalada na obra de tomada de água, cujo Projeto de Execução foi retirado do Projeto do Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz.

As condições extremas a considerar para o seu dimensionamento são as seguintes:

- Perda de carga mínima a criar, terá por base o *Cenário 2 + Situação A*
  - Cota piezométrica mínima na derivação para o Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz (222,69);
  - Cota do nível de água no reservatório da Bragada próxima do Nível de Pleno Armazenamento<sup>1</sup>;
  - Derivações para as redes secundárias de rega fora de serviço.
- Perda de carga máxima a criar, terá por base o *Cenário 1 + Situação B*
  - Cota piezométrica máxima na derivação para o Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz (224,76);
  - Cota do nível de água no reservatório da Bragada igual ao Nível Mínimo de Exploração (213,0);
  - Derivações para as redes secundárias de rega em serviço.

<sup>1</sup> Conforme se concluiu na secção anterior, não será possível aduzir o caudal de 4 m<sup>3</sup>/s quando a cota do nível de água no reservatório de Bragada for superior a 216,09.

O cálculo das perdas de carga ao longo do Adutor T1 para cada um dos cenários foi apresentado no **Anexo I.2**, tendo-se concluído:

- No *Cenário 2 + Situação A*, só se poderá garantir a adução do caudal de 4,0 m<sup>3</sup>/s ao reservatório da Bragada quando a diferença de cotas entre a piezométrica no Sifão e o nível de água no reservatório for superior a 6,60 m (ver Quadro 6.7). Para cotas do nível de água superiores, o caudal aduzido será menor, nestes casos a válvula de regulação estará totalmente aberta e deverá, pois, introduzir uma perda de carga mínima a plena abertura.
- A perda de carga máxima a introduzir pela válvula de regulação de caudal corresponde à situação descrita para o *Cenário 1 + Situação B* e deverá ser de 219,81 – 213,0 = 6,81 m.c.a. (ver Quadro 6.10).

No capítulo 4 do mesmo anexo é apresentado o dimensionamento do órgão de regulação que foi realizado de modo a garantir:

- Graus de abertura da válvula em modo regulação compreendidos entre 20° e 70° para os regimes de funcionamento pretendidos;
- A ausência de cavitação.

Tendo-se determinado para as situações limites acima identificadas, as seguintes condições extremas de funcionamento:

**Quadro 6.13 – Determinação do ângulo de abertura da válvula e perda de carga provocada**

Cenário	Cotas no R1		Caudal a regular		Coeficiente Kv	Ângulo de abertura (graus)	Δh na válvula (bar)
	Nível de água	Piezométrica à entrada (*)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /h)			
<b>Cenário 2 + Situação A</b>	216,01	216,09	4000	14400	159 275	70,0 (**)	0,008
<b>Cenário 1 + Situação B</b>	213,00	219,81	4000	14400	17 445	29.94	0,681

(\*) Valores apresentados nos quadros 3.2 e 3.3

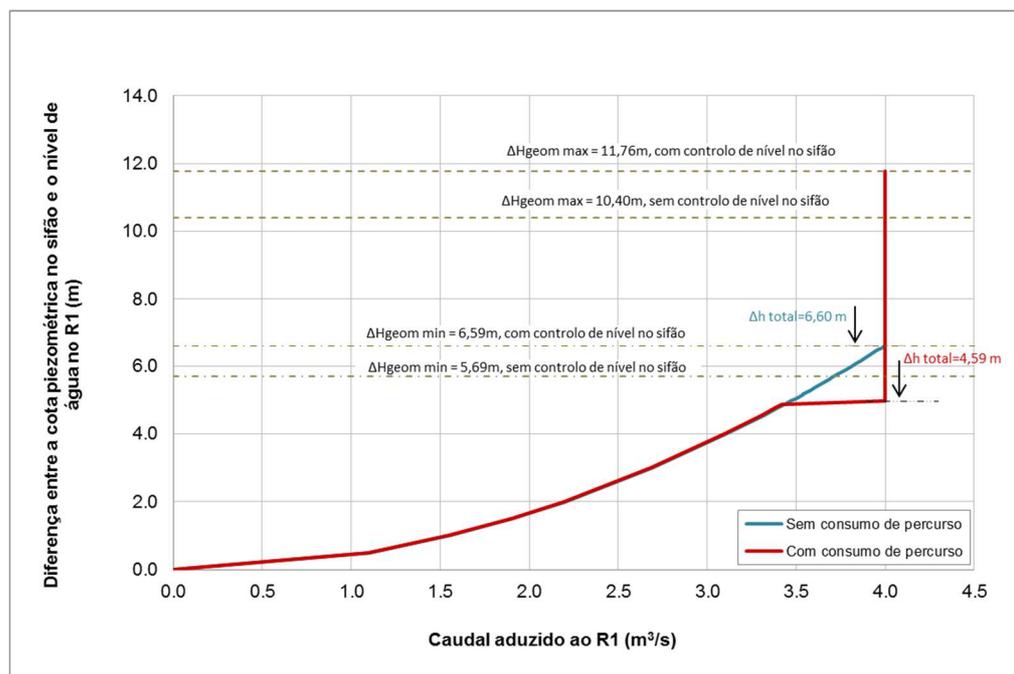
(\*\*) Valor máximo admitido, a partir do qual a abertura deverá ser total (90°)

Verificou-se que, para a situação de maior perda de carga a introduzir correspondente ao *Cenário 1 + Situação B*, a válvula de diâmetro DN1800 mm permite a regulação do caudal de 4,0 m<sup>3</sup>/s, com um ângulo de abertura superior a 20°, sem ocorrência de cavitação.

No que respeita à situação de menor perda de carga a introduzir pela válvula, correspondente ao *Cenário 2 + Situação A*, dado que o máximo grau de abertura da válvula para regulação é de 70°, só será possível a regulação de caudal para níveis de água no reservatório de Bragada inferiores à cota 216,01, não havendo igualmente a ocorrência de cavitação.

O grau de abertura da válvula deverá ser definido com auxílio de um medidor de caudal a partir do qual, em função das leituras efectuadas, deverá ser dada a ordem de abertura ou fecho da válvula dentro dos limites de funcionamento anteriormente definidos. Será função da cota piezométrica no Sifão S1, do nível de água armazenado no reservatório da Bragada e do estado (em serviço ou fora de serviço) das derivações existentes ao longo da conduta adutora.

Na figura seguinte apresenta-se a variação dos caudais aduzidos ao reservatório da Bragada em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, para os cenários extremos da sua exploração, considerando os caudais de ponta a servir pelo sistema e tendo em conta o modo de funcionamento preconizado para a válvula de borboleta.

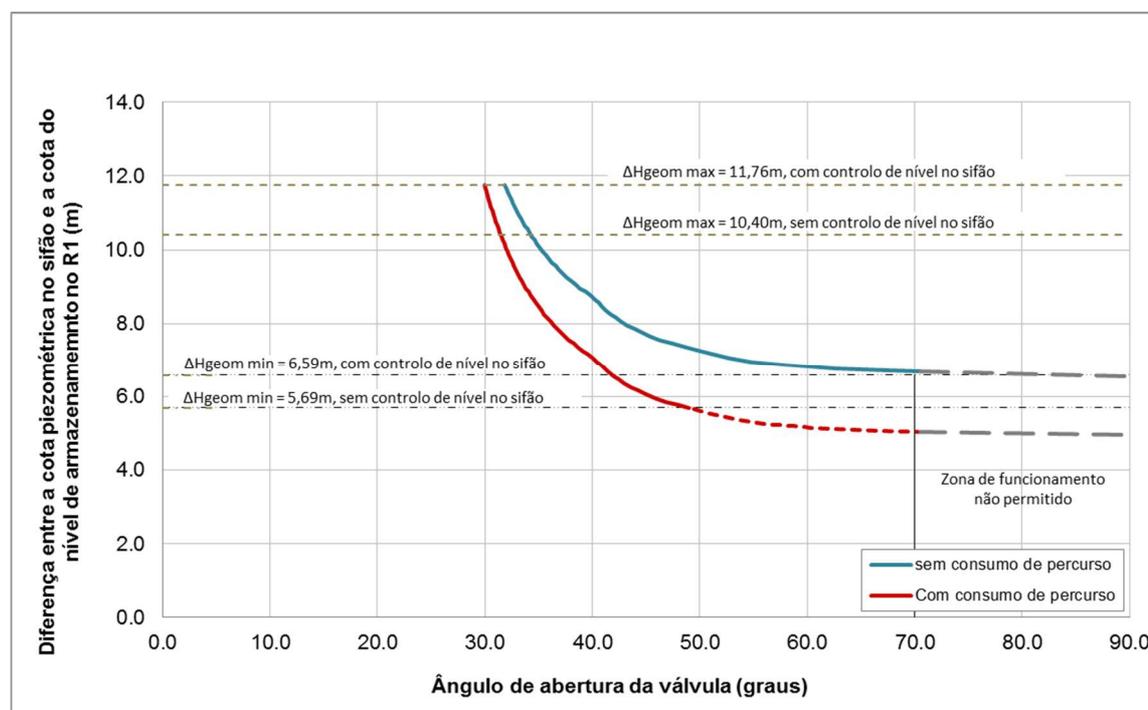


**Figura 6.5 - Caudais aduzidos pelo adutor T1 em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, para os cenários extremos da sua exploração**

Observa-se assim o seguinte:

- Na situação em que da rede secundária está em serviço, não existem condicionamentos na adução do caudal de  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , mesmo quando a diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada for a mínima,  $5,69 \text{ m}$ ;
- Na situação em que não existem consumos da rede secundária, só será possível alimentar o reservatório de Bragada com o caudal  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , quando a diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada for superior a  $6,60 \text{ m}$ . Para diferenças entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada inferiores ao valor acima indicado, o caudal aduzido ao sistema variará entre  $3,68$  e  $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , em função das condições de exploração do mesmo.

Na figura seguinte, apresentam-se os ângulos de abertura da válvula de borboleta DN1800 mm a regular em função dos valores da cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, tendo em conta o modo de funcionamento preconizado para a válvula.



**Figura 6.6 – Ângulo de abertura da válvula de borboleta em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada**

É possível concluir-se o seguinte:

- Na situação em que a rede secundária está em serviço, o ângulo de abertura da válvula irá variar entre o mínimo de  $29,94^\circ$  e o máximo de  $49^\circ$ .
- Na situação em que da rede secundária está fora de serviço, o ângulo de abertura da válvula irá variar entre o mínimo de  $31,86^\circ$  e o máximo de  $70^\circ$ , após este valor a válvula abrirá totalmente escoando o caudal que as condições do sistema permitirem.

## 7. CONDOTA ADUTORA GRAVÍTICA – T1

### 7.1. Descrição do Traçado

O Troço T1 da Conduto Adutora Gravítica possui um desenvolvimento total de cerca de 9 692 m, e liga a obra de tomada de água a construir no sifão 1 do Circuito hidráulico Álamos – Loureiro construção prevista no âmbito da empreitada de reforço das condutas dos sifões) ao reservatório da Bragada, possuindo ao longo do seu traçado 6 derivações para a rede de rega do bloco do Peral.

O traçado em planta caracteriza-se pela travessia de terrenos com relevo bastante ondulado, o que obriga à existência de uma maior densidade de pontos altos e baixos no traçado em perfil conduta.

Grande parte do traçado da conduta adutora desenvolve-se na proximidade de caminhos agrícolas existentes, não se justificando a construção de um novo caminho a acompanhar o traçado da conduta.

No traçado em planta há a assinalar os seguintes principais aspetos:

- Atravessamento de olival de alguma idade entre o km 1+293 e km 2+093;
- Atravessamento de zona de montado (sobreiros e azinheiras) pouco denso, entre o km 2+243 e km 3+093;
- Travessia de linha de água (barranco do Monte Novo), ao km 4+568;
- Travessia da ribeira da azambuja na zona de influência do regolfo da albufeira de Alqueva, entre o km 5+818 e km 5+918;
- Travessia do rio Degebe na zona de influência do regolfo da albufeira de Alqueva, entre o km 6+468 e km 6+593;
- Travessia de linha de água (ribeira do Pigeiro), ao km 7+293.

Do ponto de vista altimétrico os terrenos atravessados pela conduta situam-se aproximadamente entre a cota (218,00) aos km 0+318 e a cota (147,50) ao km 5+893 e km 6+518.

Os diâmetros e material desta conduta foram definidos pela **EDIA** durante a Fase de Nota Técnica desenvolvida pela empresa Atlas Koechlin.

## 7.2. Material das Tubagens

Para o diâmetro e pressões envolvidas, considera-se que a opção por tubagem de aço, em parte significativa do traçado, é tecnicamente adequada e economicamente competitiva face a outros materiais. Os tubos em aço a utilizar são fabricados por soldadura helicoidal, sendo revestidos exteriormente a polipropileno e interiormente á base de tintas epoxídicas. Os tubos a utilizar podem ir até comprimentos de 16 m, possuindo junta esférica para ligação entre tubos, a qual é posteriormente soldada. Este tipo de juntas permite uma rotação até 10º sem recurso a nenhum acessório.

Para os diâmetros e pressões envolvidas, considerou-se a utilização de tubagem de aço, com 2,0 m de diâmetro nos primeiros 5 405 m, reduzindo depois para um diâmetro de 1,8 m. Manteve-se a tubagem em aço para DN 1800 mm, desde o km 5+405, porque é neste troço onde se verificam as maiores pressões e, também, porque compreende a realização de duas travessias importantes de linhas de água na zona de influência do regolfo da albufeira de Alqueva (rio Degebe e ribeira da Azambuja). Para estes diâmetros, pressões e condicionalismos de instalação, a utilização de tubagem em aço demonstra ser uma opção mais competitiva do ponto de vista técnico e económico. Este tipo de tubagem apresenta ainda a vantagem de permitir a eliminação de maciços de amarração de curvas uma vez que estas se encontram soldadas à conduta formando um elemento monolítico.

Após a travessia do rio Degebe, quando a conduta inicia o trajeto ascendente em direção ao reservatório R1, optou-se pela utilização de tubagem DN1800 em betão armado com alma de aço. Trata-se de um troço com pressões mais reduzidas (pressões inferiores a 6 bar), no qual se justifica a utilização deste tipo de tubagem., à semelhança do que normalmente é adotado em projetos de natureza similar.

## 7.3. Critérios de Traçado em Planta e Perfil Longitudinal

No estabelecimento do traçado em planta da conduta adutora tiveram-se em consideração os seguintes aspetos fundamentais:

- de natureza hidráulica, nomeadamente as condições de fronteira da origem de água e dos pontos de entrega, obrigando a um funcionamento sempre em pressão;
- a adaptação do traçado à topografia do terreno, tendo em atenção a transposição de obstáculos topográficos, como linhas de água e linhas de cumeada;
- a necessidade de garantir as melhores condições de acesso por parte da futura entidade gestora do empreendimento nas operações correntes de exploração, manutenção e conservação; e

- as condições impostas pelas características das tubagens no que diz respeito ao seu modo de instalação, em particular as deflexões angulares máximas admitidas.

Tendo em consideração os aspetos acima enumerados estabeleceu-se um traçado procurando tirar partido das características das tubagens, utilizando desenvolvimentos em curva com raio de grande diâmetro para reduzir ao máximo o número de acessórios e os consequentes maciços de amarração.

Sempre que possível, adotaram-se raios maiores ao valor recomendado pelos fabricantes, de modo a obter a folga suficiente em situações em que se torna necessário conjugar desenvolvimentos curvos em mais que um plano.

Como regra adotaram-se os raios de curvatura que constam do quadro junto, tanto em planta como em perfil.

**Quadro 7.1 – Deflexão angular e raios mínimos das condutas**

<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Material</b>	<b>Deflexão (º)</b>	<b>Raio Mínimo (m)</b>
2000	Aço	5,00	<b>185</b>
1800	Aço	5,00	<b>185</b>
1800	Betão	2,38	<b>160</b>

Na definição do traçado em perfil longitudinal também se procurou evitar o recurso a acessórios através de desenvolvimentos curvos. Todavia, ao longo do traçado do adutor serão instalados os necessários órgãos de manobra e segurança, como sejam ventosas nos pontos altos, descargas de fundo nos pontos baixos, válvulas de seccionamento nos principais nós e no início das derivações.

Quanto à instalação das condutas em vala, a profundidade foi definida de modo a garantir a necessária fundação para as tubagens e um recobrimento (profundidade à geratriz superior) de, pelo menos 1,00 m. Em situações pontuais, sempre que do ponto de vista técnico e económico se justificou, adotaram-se valores diferentes para o recobrimento, sempre superiores a 1,00 m, naqueles casos em que sobre escavação compensa a dispensa de equipamentos de manobra e segurança (descargas de fundo e/ou ventosas) e as restrições de funcionamento hidráulico assim o impuseram.

Quanto a inclinações mínimas de instalação, utilizaram-se os seguintes valores:

- troços ascendentes - 0,3%; e

- troços descendentes - 0,5%.

O traçado em planta e perfil longitudinal apresenta-se nos **Desenhos 202 e 203**.

As condutas serão instaladas em vala com secção adaptada às condições de fundação existentes.

Os materiais do leito de fundação e das camadas de aterro de fecho terão as características mínimas que se apresentam nas peças desenhadas.

#### **7.4. Valas para assentamento de tubagem**

As valas tipo, apresentadas no **Desenho N.º 102**, foram definidas tendo em conta o diâmetro e material da tubagem, as características geotécnicas do terreno, a necessidade de proteção da tubagem face a sobrecargas expectáveis e a proteção contra a ação mecânica de agentes erosivos.

A profundidade das valas foi definida de modo a garantir a fundação para as tubagens e um recobrimento mínimo da conduta igual a 1,0 m.

O assentamento da tubagem e enchimento de valas deverá ser realizado segundo os seguintes critérios:

- O fundo da vala será perfeitamente nivelado;
- A tubagem será assente sobre leito de areia ou material não argiloso devidamente cirandado, com espessura equivalente a  $\varnothing_{ext.}/6$ ;
- O tritubo DN40 deverá ser instalado lateralmente à própria tubagem, tal como se pode observar no **Desenho N.º 102**, de forma a permitir eventuais obras de manutenção na tubagem sem que o cabo seja afetado. Será colocada uma fita sinalizadora da presença deste tubo. Serão instaladas caixas pré-fabricadas de betão simples com fundo roto em mudanças de direção com ângulo superior a 30º e de modo a garantir que o afastamento entre caixas ao longo do traçado seja no máximo de 250 m;
- O enchimento da vala será efetuado com aterro de terra isenta de elementos grosseiros, desde a camada de fundação até 0,30 m acima do extradorso do tubo, a qual deve ser colocada na vala por camadas de 0,20 m devidamente compactadas com o peso do pilão não superior a 4 kg;

- O restante volume da vala, até à superfície do terreno, será aterrado com material proveniente da escavação superficial colocado na vala em camadas de 0,20 m devidamente compactadas.

## **7.5. Travessias do rio Degebe e da ribeira da Azambuja**

### **7.5.1. Descrição da Solução**

Na definição da solução para a realização das travessias do rio Degebe e da ribeira da Azambuja, foi tido em conta que o nível de água nestas zonas é condicionado pelo nível de água na albufeira da Barragem de Alqueva.

Para a definição das soluções considerou-se o nível de água na albufeira à cota (148,50), sendo este o valor espectável para a data de execução da obra. No entanto a solução poderá vir a ser adaptada em função do nível de água nas ribeiras aquando da construção da obra. Refere-se ainda que as soluções construtivas definidas consideram que a sua materialização será feita em época de estiagem.

As escavações para instalação da conduta serão realizadas em duas fases, uma a partir da margem direita e outra a partir da margem esquerda, de modo a não se impedir o escoamento nas linhas de água, sendo em cada fase construída uma ensecadeira com uma geometria em planta em forma de “U”. Estas ensecadeiras serão executadas com materiais provenientes das escavações em maciço xistento e terão o coroamento à cota 150.

Tendo em conta as condições geológicas do local, nomeadamente a existência de uma camada de aluviões grosseiras, materiais que se caracterizam por apresentar elevada permeabilidade, as ensecadeiras incluirão a execução de uma vala corta-águas de modo a reduzir a percolação de água por esta camada e, assim, minimizar as aflúncias à vala para instalação da conduta. Estas valas serão executadas a partir de uma plataforma de trabalho à cota (149,00), construída previamente e utilizando materiais provenientes das escavações. Os aterros para a construção desta plataforma serão executados em submerso, com colocação em ponta de aterro.

Contudo, é expectável que ainda ocorra alguma aflúncia de água às escavações, pelo que se prevê a necessidade de instalação de um sistema de bombagem para manter a vala para instalação da conduta a seco. Tendo em conta os materiais que constituem as ensecadeiras e o modo como estas são executadas estima-se um caudal afluyente às valas de cerca de 360 l/s, para a travessia do Rio Degebe, e de cerca de 400 l/s para a travessia da Ribeira da Azambuja, assumindo a extensão total das valas. Estes valores variarão em função do comprimento dos troços a escavar e da permeabilidade dos materiais a colocar na vala corta-águas.

Se no decorrer das escavações se verificarem instabilidades nos taludes provisórios da vala para instalação da conduta, o empreiteiro deverá proceder à execução de uma entivação escorada, com recurso a estacas-prancha metálicas, ou com outra metodologia equivalente.

Nos **Desenhos 103 a 105** apresenta-se a definição da solução para a execução da travessia do Rio Degebe e nos **Desenhos 106 a 108** para a travessia da Ribeira da Azambuja. No **Desenho 109** ilustra-se o processo construtivo a adotar para a instalação da conduta nos dois atravessamentos.

### 7.5.2. Faseamento Construtivo

Para a travessia do rio Degebe o faseamento construtivo deverá ser o seguinte:

#### 1. 1ª Fase (Desenhos 103, 105 e 109)

- a. Execução da plataforma de trabalho, à cota (149,00), a partir da margem direita do rio, com 38 m de largura e aproximadamente 40 m de comprimento. Esta plataforma será construída com materiais provenientes das escavações e não interceptará o leito do rio na sua totalidade de modo a assegurar-se a circulação da água. Estes aterros serão executados em ambiente submerso, com recurso à técnica de lançamento em ponta de aterro;
- b. Escavação da vala corta-águas ao longo do contorno da plataforma de trabalho. Esta vala, com uma largura mínima na base de 2 m, deverá atingir a base das aluviões grosseiras, garantindo algum encastramento no maciço rochoso mais fraturado e alterado, e ser prolongada até ao maciço rochoso que aflora na margem direita;
- c. Preenchimento da vala com materiais xistentos provenientes das escavações. Este preenchimento deverá ser feito em sequência com a abertura da vala;
- d. Execução do aterro da ensecadeira ao longo do contorno da plataforma de trabalho, com 3 m de largura no topo, até à cota (150,00);
- e. Escavação da vala para instalação da conduta. Em função do controlo das afluências de água à vala e das condições de estabilidade dos taludes de escavação provisórios, poderá ser necessário proceder à escavação por troços;
- f. Instalação da conduta.

#### 2. 2ª Fase (Desenhos 104, 105 e 109)

- a. Escavação da vala corta-águas junto à margem direita (perpendicularmente ao alinhamento da conduta) e posterior preenchimento com materiais xistentos provenientes das escavações. A vala corta-águas, na zona onde intercepta a vala para instalação da conduta, será materializada através do preenchimento desta última vala com solos provenientes das escavações em maciço xistento. Após

- concluída a vala corta-águas proceder-se-á à execução de um aterro com 3 m de largura no topo, até à cota 150;
- b. Abertura de um canal provisório junto à ensecadeira descrita no ponto anterior, de modo a permitir o escoamento da água do rio. Este canal deverá ser escavado à cota 148;
  - c. Preenchimento do canal provisório da 1ª Fase com aterro até à cota (149,00);
  - d. Prolongamento da vala corta-águas prevista em 1b até ao maciço rochoso que aflora na margem esquerda;
  - e. Prolongamento das ensecadeiras, com 3,0 m de largura até à margem esquerda;
  - f. Escavação da vala para instalação da conduta. Em função do controlo das afluições de água à vala e das condições de estabilidade dos taludes de escavação provisórios, poderá ser necessário proceder à escavação por troços;
  - g. Instalação da conduta.

Após serem terminados os trabalhos de instalação da conduta proceder-se-á ao restabelecimento das condições iniciais.

Entre o km 6+453 e km 6+533 a conduta será envolvida em betão, de acordo com o estabelecido no **Desenho 102**.

Para a travessia da Ribeira da Azambuja o faseamento construtivo deverá ser o seguinte:

#### **1. 1ª Fase (Desenhos 106, 108 e 109)**

- a. Execução da plataforma de trabalho, à cota (149,00), a partir da margem direita, com 40 m de largura e aproximadamente 28 m de comprimento com materiais provenientes das escavações. Previamente à execução da plataforma de trabalho deverá proceder-se à escavação de um canal na margem esquerda da ribeira, com 3 m de largura na base, de modo a assegurar-se o escoamento da água. Este canal deverá ser escavado à cota (147,00);
- b. Escavação da vala corta-águas ao longo do contorno da plataforma de trabalho. Esta vala, com uma largura mínima na base de 2,0 m, deverá atingir a base das aluviões grosseiras, garantindo algum encastramento no maciço rochoso, e ser prolongada até cerca do km 5+761, na margem direita, zona esta onde se prevê que o maciço já se encontre acima do nível da água previsto;
- c. Preenchimento da vala com materiais xistentos provenientes das escavações. Este preenchimento deverá ser feito em sequência com a abertura da vala;
- d. Execução do aterro da ensecadeira, com 3,0 m de largura, ao longo da plataforma de trabalho, até á cota (150,00);

- e. Escavação da vala para instalação da conduta. Em função do controlo das aflúências de água à vala e das condições de estabilidade dos taludes de escavação provisórios, poderá ser necessário proceder à escavação por troços;
  - f. Instalação da conduta.
2. 2ª Fase (**Desenhos N.º 107 a 109**)
- a. Escavação da vala corta-águas junto à margem direita (perpendicularmente ao alinhamento da conduta) e posterior preenchimento com materiais xistentos provenientes das escavações. A vala corta-águas, na zona onde intercepta a vala para instalação da conduta, será materializada através do preenchimento desta última vala com solos provenientes das escavações em maciço xistento. Após concluída a vala corta-águas proceder-se-á à execução de um aterro com 3 m de largura no topo, até à cota (150,00);
  - b. Escavação do canal provisório na margem direita da ribeira, com 3 m de largura, de modo assegurar-se o escoamento da água. Este canal deverá ser escavado à cota (147,50) de modo a não interceptar a conduta instalada na 1ª Fase;
  - c. Prolongamento da plataforma de trabalho construída na 1ª Fase até à margem esquerda;
  - d. Prolongamento da vala corta-águas, prevista em 1b, até ao maciço rochoso que aflora na margem esquerda;
  - e. Prolongamento das ensecadeiras, com 3,0 m de largura até à margem esquerda;
  - f. Escavação da vala para instalação da conduta. Em função do controlo das aflúências de água à vala e das condições de estabilidade dos taludes de escavação provisórios, poderá ser necessário proceder à escavação por troços;
  - g. Instalação da conduta.

Após serem terminados os trabalhos de instalação da conduta proceder-se-á ao restabelecimento das condições iniciais.

Entre o km 5+777 e km 5+913 a conduta será envolvida em betão, de acordo com o estabelecido no **Desenho N.º 102**.

#### **7.6. Travessias de caminhos e linhas de água**

Nas secções de travessia de valas de drenagem, de linhas de água e de caminhos com intensidade de tráfego considerável as condutas serão protegidas com um envolvimento de betão armado (ver **Desenho n.º 102**).

Na zona das travessias principais de valas de drenagem existirá uma proteção do leito com “colchão tipo Reno” (e = 0,23 m) assente sobre geotêxtil (300 g/m<sup>2</sup>).

Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características das travessias de caminhos e de linhas de água a efetuar ao longo da conduta elevatória.

Relativamente ao atravessamento de caminhos agrícolas, observa-se que não é necessário efetuar a proteção da conduta em todos os casos, tendo apenas sido considerados, por segurança, situações em que a conduta possui um recobrimento inferior a 1,50 m.

**Quadro 7.2 – Travessias de caminhos agrícolas**

Nó	Distância à origem (km)	Tubagem a instalar no atravessamento			Profundidade média (m)	Necessidade de proteção com betão	Comprimento a proteger (m)
		Diâmetro Nominal (mm)	Diâmetro Externo	Material			
<i>Caminhos Rurais e Agrícolas</i>							
CA01	0+359,8	2,00	2,04	AÇO	1,69	Não	-
CA02	0+491,1	2,00	2,04	AÇO	1,20	Sim	4,00
CA03	0+845,6	2,00	2,04	AÇO	1,29	Sim	4,00
CA04	1+075,8	2,00	2,04	AÇO	1,02	Sim	4,00
CA05	1+282,1	2,00	2,04	AÇO	2,06	Não	-
CA06	1+628,1	2,00	2,04	AÇO	1,05	Sim	4,00
CA07	2+089,3	2,00	2,04	AÇO	1,56	Não	-
CA08	2+141,5	2,00	2,04	AÇO	1,01	Sim	5,00
CA09	2+255,0	2,00	2,04	AÇO	1,10	Sim	10,00
CA10	2+831,6	2,00	2,04	AÇO	1,40	Sim	4,00
CA11	3+212,4	2,00	2,04	AÇO	1,14	Sim	4,00
CA12	3+675,6	2,00	2,04	AÇO	1,16	Sim	4,00
CA13	4+073,4	2,00	2,04	AÇO	1,09	Sim	4,00
CA14	4+779,2	2,00	2,04	AÇO	1,07	Sim	4,00
CA15	5+213,4	2,00	2,04	AÇO	1,24	Sim	5,00
CA16	5+356,0	2,00	2,04	AÇO	1,20	Sim	8,00
CA17	5+492,5	1,80	1,84	AÇO	1,13	Sim	4,00
CA18	5+663,6	1,80	1,84	AÇO	1,22	Sim	4,00
CA19	5+935,7	1,80	1,84	AÇO	2,56	Não	-
CA20	5+969,9	1,80	1,84	AÇO	1,26	Sim	4,00
CA21	6+163,3	1,80	1,84	AÇO	1,93	Não	-
CA22	6+431,8	1,80	1,84	AÇO	1,26	Sim	4,00
CA23	6+596,2	1,80	1,84	AÇO	2,12	Não	-
CA24	6+982,6	1,80	1,84	AÇO	2,15	Não	-
CA25	7+059,8	1,80	1,84	AÇO	1,37	Sim	6,00
CA26	7+616,6	1,80	2,10	BAA	1,83	Não	-
CA27	7+757,2	1,80	2,10	BAA	1,59	Não	-
CA28	7+788,8	1,80	2,10	BAA	2,27	Não	-
CA29	7+929,6	1,80	2,10	BAA	1,41	Sim	4,00
CA30	8+160,9	1,80	2,10	BAA	2,09	Não	-
CA31	8+350,9	1,80	2,10	BAA	1,16	Sim	4,00
CA32	8+858,4	1,80	2,10	BAA	2,75	Não	-
CA33	9+044,9	1,80	2,10	BAA	1,52	Não	-
CA34	9+407,0	1,80	2,10	BAA	3,52	Não	-
CA35	9+413,1	1,80	2,10	BAA	3,79	Não	-

**Quadro 7.3 – Travessias de linhas de água**

Nó	Distância à origem (km)	Tubagem a instalar no atravessamento			Profundidade média (m)	Necessidade de proteção com betão	Comprimento a proteger (m)
		Diâmetro Nominal (mm)	Diâmetro Externo	Material			
<i>Linhas de água</i>							
LA01	0+058,8	2,00	2,04	AÇO	0,97	Sim	12,00
LA02	0+648,1	2,00	2,04	AÇO	1,01	Sim	6,00
LA03	0+977,9	2,00	2,04	AÇO	1,01	Sim	3,00
LA04	1+616,6	2,00	2,04	AÇO	1,19	Sim	8,00
LA05	4+492,8	2,00	2,04	AÇO	1,08	Sim	12,00
LA06	4+563,7	2,00	2,04	AÇO	1,01	Sim	3,00
LA07	5+613,5	1,80	1,84	AÇO	1,12	Sim	4,00
LA09	6+195,9	1,80	1,84	AÇO	1,13	Sim	4,00
LA11	7+293,3	1,80	1,84	AÇO	1,13	Sim	12,00
LA12	8+536,2	1,80	2,10	BAA	0,97	Sim	10,00
LA13	9+208,9	1,80	2,10	BAA	1,01	Sim	8,00

### 7.7. Maciços de Amarração

Ao longo do traçado da conduta adutora gravítica existem vários acessórios em tê e em curva, para os quais será necessário construir um maciço de amarração (**Desenho n.º 208**).

Prevê-se a construção de maciços de amarração em todas as derivações. Prevê-se também a construção de maciços de amarração em todas as curvas em planta e em perfil, no troço de conduta com tubagem em Betão armado com alma de aço (BAA). Algumas dessas curvas coincidem com locais de construção de câmaras de descarga de fundo. Nesses casos, o maciço de amarração será o da própria câmara.

No quadro seguinte apresentam-se as principais características dos maciços de amarração a construir.

Maciço	Nó	PK	Localização		Dimensões da peça - Tê (mm)			Curva		Cotas			Pensaio (m.c.a.)	Pensaio (kN/m2)	secção m²	Impulso (kN)	Dimensões do maciço (m)			Observações
			M	P	DN1	DN2	DN3	DN (mm)	ângulo (°) (E)	Terreno	Eixo da Conduta	piezométrica estática					A	B	C	
MC1	N02	1+073,33	39 427,93	-143 345,44	2000	2000	200	-	-	202,36	200,33	224,99	37,00	362,93	0,03	11,40	<b>3,00</b>	<b>1,20</b>	<b>3,00</b>	Derivação para hidrante
MC2	N03	1+645,60	39 503,97	-142 778,90	2000	2000	150	-	-	200,62	198,12	224,99	40,31	395,39	0,02	6,99	<b>3,00</b>	<b>1,15</b>	<b>3,00</b>	Derivação para hidrante
MC3	N04	2+151,85	39 600,40	-142 289,05	2000	2000	250	-	-	206,38	204,32	224,99	31,01	304,17	0,05	14,93	<b>3,00</b>	<b>1,25</b>	<b>3,00</b>	Derivação para hidrante
MC4	N05	4+071,95	39 792,62	-140 409,75	2000	2000	250	-	-	177,21	175,06	224,99	74,90	734,75	0,05	36,07	<b>3,00</b>	<b>1,25</b>	<b>3,00</b>	Derivação para hidrante
MC5	N06	5+404,82	39 939,17	-139 089,45	2000	1800	350	-	-	153,33	150,96	224,99	111,04	1089,31	0,10	104,80	<b>2,80</b>	<b>1,35</b>	<b>2,80</b>	Derivação para conduta de rega
MC6	N07	7+749,89	41 455,38	-137 979,20	1800	1800	600	-	-	197,74	195,31	224,99	44,52	436,70	0,28	123,47	<b>2,80</b>	<b>1,60</b>	<b>2,80</b>	Derivação para conduta de rega
MC7	N0612	7+740,98	41 448,66	-137 985,03	-	-	-	1800	22,50	197,66	195,26	224,99	44,60	437,55	2,54	434,44	<b>3,00</b>	<b>1,44</b>	<b>2,80</b>	Curva Horizontal
MC9	N0707	8+529,84	42 039,55	-137 463,91	-	-	-	1800	10,80	191,79	188,33	224,99	55,00	539,51	2,54	258,40	<b>2,80</b>	<b>1,50</b>	<b>2,94</b>	Curva Vertical (impulso descendente)
MC11	N0712	9+213,88	42 516,51	-136 977,84	-	-	-	1800	8,00	201,81	199,50	224,99	38,24	375,09	2,54	133,16	<b>2,80</b>	<b>1,50</b>	<b>2,91</b>	Curva Vertical (impulso descendente)
MC12	N0715	9+675,59	42 763,97	-136 588,05	-	-	-	1800	30,00	212,48	209,43	224,99	23,34	228,98	2,54	301,62	<b>3,28</b>	<b>1,40</b>	<b>2,80</b>	Curva Horizontal

A verificação da segurança dos maciços de amarração da conduta gravítica foi efetuada em relação aos Estados Limites Últimos de equilíbrio e das tensões na fundação.

Os coeficientes de segurança garantidos para os vários estados de equilíbrio foram os seguintes:

**Quadro 7.4 - Fatores de segurança ao deslizamento e derrubamento.**

Estado de equilíbrio	Combinação normal de ações (Serviço - regime permanente / transitório)	Combinação excecional de ações (Ensaio)
Deslizamento	1.5	1.2
Derrubamento	2.0	1.5

A verificação da segurança das tensões na fundação foi efetuada através da comparação entre tensões atuantes e tensões admissíveis. Atendendo às condições de fundação previstas para os maciços de amarração considerou-se uma tensão admissível da ordem dos 250 kPa.

Os pesos volúmicos e as propriedades solo/betão considerados foram os seguintes:

**Quadro 7.5 – Pesos volúmicos**

Pesos Volumicos	
Peso volúmico betão (kN/m <sup>3</sup> )	24.0
Peso volúmico água (kN/m <sup>3</sup> )	10.0
Peso volúmico terras (kN/m <sup>3</sup> )	20.0

**Quadro 7.6 – Interação Solo-Estrutura**

Maciços de "Encosto"	
Atrito base-betão	0.6
Tensão de encosto do terreno (kPa)	50.0

A betonagem dos maciços de amarração deverá ser contra o terreno de forma a mobilizar uma tensão de encosto. Esta tensão foi considerada igual a 50 kPa.

## **8. EQUIPAMENTO DE COMANDO, MANOBRA E SEGURANÇA**

### **8.1. Considerações Gerais**

Os equipamentos hidromecânicos a instalar no Adutor T1 destinam-se a equipar os seguintes elementos:

- derivações para os blocos de rega;
- Descargas de fundo; e
- Ventosas.

Nos pontos seguintes descrevem-se estes equipamentos e as suas funcionalidades.

### **8.2. Derivações para o bloco de rega do Peral**

A longo do traçado do troço T1 da conduta adutora gravítica existem 6 derivações para hidrantes e condutas da rede secundária de rega do bloco do Peral.

O projeto de execução da conduta adutora gravítica T1, contempla apenas a realização das derivações, através da instalação de um tê e do respetivo maciço de amarração. As câmaras de secionamento e medição de caudal serão contempladas no projeto de execução da rede secundária de rega do bloco do peral, juntamente com as estações de filtração.

### **8.3. Ventosas**

A variação da altura piezométrica que tem continuamente lugar no interior das condutas, origina a permanente variação do grau de dissolução do ar na água, dando lugar à sua libertação. A presença de bolsas de ar não controladas nos sistemas hidráulicos provoca, não só reduções significativas do caudal escoado, como eventuais problemas de golpe de aríete, por vezes fatais para as tubagens e para o equipamento acessório.

A ocorrência de ar nas condutas pode resultar de diversas circunstâncias, como sejam:

- do ar normalmente emulsionado na água (proveniente de um reservatório ou de outra origem de água);
- dos eventuais vórtices gerados no processo de alimentação do sistema na sua origem (vórtice criado na superfície de um reservatório, vórtice criado pela aspiração de bombas e ar acumulado nas condutas de aspiração, etc.);
- da passagem através de juntas mal vedadas, em troços onde ocorram pressões inferiores à pressão atmosférica; e

- por arrastamento de uns troços para outros como, por exemplo, quando se dá a passagem do escoamento em superfície livre para escoamento em pressão.

As bolsas gasosas, submetidas por um lado a um gradiente de altura piezométricas, e por outro ao próprio escoamento onde se encontram disseminadas, são naturalmente transportadas para os pontos altos das condutas, sendo, por isso, necessário prever a instalação, nestes locais, de órgãos extratores de ar. Nos locais onde tenha lugar uma brusca redução do gradiente de alturas piezométricas podem ocorrer retenções de ar pelo que também ali se deverão instalar órgãos para o mesmo fim.

De igual forma, é necessário extrair o ar durante as operações de enchimento e esvaziamento. No primeiro caso, há necessidade de expulsar o ar acumulado no interior das tubagens; no segundo, pretende-se o oposto. Por este facto, para além dos pontos altos e dos locais particulares anteriormente referidos previu-se a instalação de ventosas a jusante de válvulas de seccionamento em troços descendentes e a montante das mesmas em troços ascendentes.

Em suma, para garantir as melhores condições de funcionamento do sistema, é fundamental recorrer a dispositivos que assegurem as seguintes funções:

- Expulsão de pequenos volumes de ar durante o funcionamento normal do sistema, em regime permanente;
- Evacuação de grandes volumes de ar durante os períodos de enchimento das condutas; e
- Admissão de grandes volumes de ar durante os períodos de esvaziamento das condutas, para prevenir o colapso da tubagem durante o mesmo, quer em caso de abertura de descargas de fundo quer em caso de rutura.

Conforme as finalidades pretendidas, a terminologia comercial refere os seguintes tipos principais:

- Simple efeito, quando dotadas de pequeno orifício de passagem (diâmetro da ordem da dezena de milímetros) para permitir a saída do ar das condutas trabalhando em pressão;
- Duplo efeito, quando dotadas de grande orifício de passagem destinado a permitir a saída e a entrada de grandes quantidades de ar a baixa pressão; e
- Três funções, dispondo de dois orifícios, conjugando as ações dos tipos atrás referidos.

Na presente empreitada serão utilizadas ventosas de três funções.

No que respeita à localização, recomenda-se, genericamente, a sua localização nos seguintes pontos:

- Em todos os pontos altos do perfil longitudinal da conduta, tomando como referência a linha de energia e não a horizontal;
- Nos pontos dos troços ascendentes em que haja uma redução brusca da inclinação;
- Nos pontos dos troços descendentes onde ocorra um aumento significativo da inclinação; e
- Onde seja necessário reduzir o afastamento máximo entre dispositivos que, normalmente, não deverá ser superior a 1 km.

O traçado da conduta adutora gravítica foi estabelecido de modo a facilitar a concentração do ar em pontos altos onde se instalarão as ventosas. Daí as inclinações mínimas consideradas para os troços ascendentes e descendentes.

Sendo equipamentos relativamente sensíveis e suscetíveis de entupimento, a manutenção das ventosas deverá ser possível de executar sem que se tenha de interromper o abastecimento de água para jusante. Para o efeito, deverá existir sempre uma válvula de seccionamento imediatamente a montante da mesma no respetivo ramal de ligação, independentemente da ventosa já incorporar sistemas próprios de seccionamento.

As múltiplas condições de funcionamento durante uma época, a multiplicidade e a localização precisa das ventosas condicionam o seu dimensionamento rigoroso. Por outro lado, as condições de funcionamento assumem particular importância no dimensionamento das ventosas em situações de desnível muito acentuado ou quando as ventosas se encontram muito afastada entre si, com poucas ventosas a protegerem grandes extensões de condutas.

No presente sistema tais situações não são correntes pelo que se indicam somente as condições habituais que devem ser respeitadas, e que por isso mesmo, já são significativamente padronizadas na conceção dos equipamentos a aplicar, os quais apresentam suficientes coeficientes de segurança.

### **8.3.1. Determinação do diâmetro das ventosas**

#### **Pequeno orifício**

O diâmetro do orifício da ventosa para a função de desgaseificação permanente (orifício pequeno) terá de ser compatível com o valor do caudal de ar a escoar que se estima em cerca de 1 a 2% do caudal de água.

Com base nestes valores e na pressão absoluta é possível determinar o pretendido diâmetro do orifício da ventosa, recorrendo a expressões analíticas ou a ábacos apresentados por fabricantes, como seja a seguinte:

$$d_2 = 11,24 \times \sqrt{\frac{Q}{P}}$$

onde:

- $d_2$  - diâmetro do pequeno orifício da ventosa, em mm;
- $Q$  - caudal de ar a escoar, em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ; e
- $P$  - altura piezométrica, em bar.

O valor obtido terá de ser compatível com o limite das sobrepressões admissíveis na conduta decorrentes do golpe de aríete, originado pelo fecho da ventosa.

O diâmetro máximo admissível pode ser obtido recorrendo à seguinte expressão:

$$d_1 = 0,2 \times D \times \sqrt{\frac{H}{a}}$$

onde:

- $d_1$  - diâmetro do pequeno orifício da ventosa, em mm;
- $D$  - diâmetro da conduta, em mm;
- $a$  - velocidade da onda de pressão expressa em  $\text{m s}^{-1}$ ; e
- $H$  - valor da sobrepressão máxima admitida, em m.

### **Grande orifício**

A verificação da secção necessária para o grande orifício será feita para duas situações de funcionamento (enchimento e esvaziamento), tomando-se o maior como referência a especificar.

#### *A) Enchimento das condutas*

Para efeito de evacuação de ar, o caudal deverá ser compatível com uma velocidade de enchimento das condutas, que deve oscilar entre 0,2 m/s e 0,5 m/s.

O diâmetro da ventosa poderá ser obtido pela seguinte expressão:

$$d_3 = D \times \sqrt{\frac{v}{190}}$$

onde:

- $d_3$  - diâmetro do grande orifício da ventosa, em mm;
- $D$  - diâmetro da conduta, em mm;
- $v$  - velocidade de enchimento da conduta, em m/s.

#### *B) Esvaziamento de um troço*

Para a admissão de ar, o caudal terá de ser, pelo menos, igual ao máximo caudal escoado pela descarga de fundo mais desfavorável ou pela secção de uma rotura.

A depressão máxima admissível das tubagens é da ordem de 0,02 MPa, a que corresponde uma velocidade de escoamento no orifício de entrada de cerca de 200 m/s. Este é o valor indicado por alguns autores e fabricantes para o cálculo do orifício. Nesta situação, o diâmetro é dado por:

$$d_4 = 1100 \times \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

onde:

- $d_4$  - diâmetro do grande orifício da ventosa, em mm;
- $Q$  - caudal de ar a admitir, em m<sup>3</sup>/s; e
- $v$  - velocidade de escoamento de ar, em m/s.

Tendo em consideração o grande diâmetro das condutas e o caudal elevado de ar de admissão / saída que é necessário garantir, em cada câmara de ventosa deverão ser instaladas duas ventosas de triplo efeito.

#### **8.3.2. Instalação das ventosas**

As ventosas serão instaladas em câmaras próprias (em instalações tipo, de acordo com o **Desenho N.º 205**), formadas por anéis de betão, prevendo-se a sua aplicação sobre o tê de ligação em terreno agrícola ou a sua instalação em ramal próprio, de modo a não ficar

localizada em bermas ou caminhos. Nestes casos o ramal de ligação deverá ter uma inclinação ascendente para a ventosa, superior ou igual a 1%.

A instalação das duas ventosas é efetuada numa flange cega DN 800 mm, dotada de dois troços de tubo com o diâmetro da ventosa, sobre os quais são colocadas as ventosas com as válvulas de cunha. A Flange cega é colocada sobre a derivação DN800 mm do tê.

As ventosas devem ser instaladas a cota inferior à linha de energia de regime permanente para a situação horizonte de projeto.

A soleira da câmara será construída por anel de betão armado *in situ* e camada de enrocamento para permitir a drenagem da mesma.

Sobre este anel de betão, encaixarão anéis pré-fabricados de betão até se atingir a cota do terreno e, acima da cota do terreno, um outro anel de semelhantes dimensões, mas perfurado, para permitir a ventilação da câmara e o funcionamento das ventosas.

O dimensionamento dos anéis teve em conta a necessidade de manobra e da realização de visitas para inspeção e manutenção do equipamento. Serão utilizados anéis de betão pré-fabricados de diâmetro  $\varnothing 2,30$  m e  $\varnothing 2,00$  m.

A cobertura da câmara será realizada por laje pré-fabricada, amovível, com abertura para permitir a instalação de tampa metálica para abertura 0,80 m x 0,60 m.

As tampas metálicas permitem a manobra e a inspeção visual, enquanto as coberturas amovíveis permitem a substituição do equipamento e a entrada de homem.

Ao longo da conduta adutora gravítica serão instaladas 21 câmaras de ventosa, das quais em 4 deverão ser instaladas ventosas de baixa pressão.

Serão instaladas ventosas de três funções de baixa pressão, em pontos cuja pressão sobre o extradorso da conduta se situa entre 2,0 m.c.a. e 5,0 m.c.a..

Todas ventosas a instalar devem funcionar com as pressões mínimas previstas no projeto.

Na fase inicial da obra, o Empreiteiro deverá apresentar uma nota técnica justificativa do funcionamento destas ventosas, face às pressões existentes, para aprovação da Fiscalização/Dono de Obra.

**Quadro 8.1 – Câmaras de ventosa da Conduita Adutora Gravítica – T1**

Nó	Distância à origem (km)	Conduita / derivação		N.º de Ventosas	Diâmetro Equip (mm)	Diâmetro tubagem de descarga (mm)	Diâmetro do anel de betão	Cotas [m]			Carga no extradorso da conduita (m)
		DN1 (mm)	DN2 (mm)					Terreno	Eixo da conduita	Soleira da caixa	
N0103	0+320,3	2000	250	2 (BP)	250	140	2,30	218,30	214,83	216,61	3,38
N0105	0+853,4	2000	250	2	250	140	2,30	213,10	210,41	212,50	7,55
N0201	1+265,4	2000	250	2 (BP)	250	140	2,30	216,67	213,95	216,07	3,82
N0203	1+434,5	2000	250	2	250	140	2,30	215,31	211,82	214,71	5,87
N0301	1+737,0	2000	250	2	250	140	2,30	209,72	207,16	209,12	10,40
N0401	2+194,1	2000	250	2	250	140	2,30	207,66	205,58	207,06	11,76
N0403	3+357,0	2000	250	2	250	140	2,30	189,11	187,04	188,51	29,78
N0405	3+639,5	2000	250	2	250	140	2,30	188,36	186,29	187,76	30,40
N0407	4+012,1	2000	250	2	250	140	2,30	181,83	179,72	181,23	36,81
N0501	4+131,8	2000	250	2	250	140	2,30	181,15	179,02	180,55	37,45
N0503	4+328,3	2000	250	2	250	140	2,30	179,85	177,52	179,25	38,86
N0508	4+652,2	2000	250	2	250	140	2,30	158,24	155,85	157,64	60,38
N0510	4+835,5	2000	250	2	250	140	2,30	157,68	155,27	157,08	60,88
N0601	5+658,5	1800	200	2	200	140	2,00	158,30	156,22	157,70	59,58
N0604	6+023,8	1800	200	2	200	140	2,00	161,46	159,38	160,86	56,14
N0608	7+017,1	1800	200	2	200	140	2,00	191,06	188,90	190,46	25,85
N0701	7+880,4	1800	200	2	200	140	2,00	200,86	198,60	200,26	15,26
N0703	8+167,4	1800	200	2	200	140	2,00	202,74	199,78	202,14	13,78
N0705	8+394,9	1800	200	2	200	140	2,00	206,25	203,84	205,65	9,48
N0708	8+935,9	1800	200	2 (BP)	200	140	2,00	213,96	210,17	211,62	2,60
N0710	9+112,7	1800	200	2	200	140	2,00	209,68	207,49	209,08	5,09
N0713	9+312,4	1800	200	2 (BP)	200	140	2,00	210,92	208,73	210,32	3,64

BP - Ventosas de baixa pressão

#### 8.4. Descargas de Fundo

As descargas de fundo das condutas têm como função permitir o esvaziamento controlado das mesmas para operações de manutenção e limpeza. Assim, deverão ser instaladas descargas de fundo em todos os pontos baixos das condutas.

As descargas de fundo tipo a construir são apresentadas no **Desenho N.º 206**.

O cálculo dos diâmetros das descargas de fundo foi efetuado com base no tempo máximo de esvaziamento completo do troço ou do sector interessado, admitindo-se um tempo de esvaziamento compreendido entre 2 h a 5 h.

Note-se que, para troços de grandes dimensões (diâmetro e extensão), será necessário manobrar várias descargas de fundo.

Do ponto de vista hidráulico, a determinação do valor do diâmetro da válvula pode ser feita com base na equação fundamental da foronomia e admitindo um coeficiente de vazão para orifícios circulares guiados e um valor de carga igual à altura média de água no troço ou sector servido pela mesma. O valor teórico terá, todavia, de ser confrontado com o valor mínimo normalmente admissível, por razões de limpeza e de segurança, e que se considera ser cerca de um sexto do diâmetro da conduta, com valor nunca inferior a 100 mm.

A conduta adutora gravítica apresenta diâmetro entre DN 1800 e DN 2000 mm, tendo sido previstas apenas descargas de fundo DN 250 mm.

Para efeitos do cálculo, considerou-se que a vazão das descargas de fundo é constante e dada pela expressão de um orifício com diâmetro igual ao DN da válvula da descarga de fundo, sendo a carga definida como a carga média entre a situação estática e carga nula.

A posição da conduta face ao terreno implica que as descargas se situam abaixo da cota do terreno.

No presente caso, tratando-se de condutas de grande diâmetro há a necessidade de prever a inspeção das tubagens, pelo que se projeta uma estrutura formada por um maciço de envolvimento e por uma câmara para instalação de boca de visita e manobra da válvula de descarga.

No local da descarga de fundo instala-se um acessório de aço munido de boca de visita basculante (DN 800 mm) e com uma picagem de 250 mm de diâmetro na qual se instalará a válvula de descarga. A válvula é munida de haste, fixada à parede da câmara, por forma a permitir a manobra a partir da cobertura

O acesso à válvula e à boca de visita será efetuado por escada em perfis pultrudidos, apresentada no **Desenho N.º 206**, sendo esta equipada com guarda-costas para desníveis superiores a 4,00 m.

Os caudais de descarga são transferidos para uma segunda câmara de anéis pré-fabricados, através de uma conduta de ligação à válvula.

O anel superior terá um orifício com 0,50 x 0,40 m de dimensão e será instalado a cota superior à do terreno. Este orifício deve ser protegido com uma rede em aço inox.

Após a abertura da válvula de descarga de fundo, o nível na câmara subirá até transbordar através do orifício de descarga.

A carga hidráulica diminuirá à medida que se processa o esvaziamento da conduta sendo necessário que a água acumulada na conduta e na caixa de descarga a cota inferior à do terreno seja retirada com recurso a bombas submersíveis.

O orifício de descarga deve ser orientado para cotas topográficas inferiores e a zona de descarga será revestida com enrocamento  $D_{50}=0,10$  m, numa camada com 0,20 m de espessura mínima, para minimizar possíveis efeitos erosivos.

Ao longo da conduta adutora gravítica serão instaladas 25 descargas de fundo, conforme se apresenta no quadro seguinte. Este número elevado de descargas de fundo deve-se ao relevo bastante ondulado dos terrenos atravessados pela conduta.

**Quadro 8.2 – Principais características das câmaras de descarga de fundo**

Nó	DNconduta (mm)	Distância à origem (km)	DNválvula (mm)	Cotas			Altura total da caixa (m)
				Terreno	Eixo da conduta	Soleira da caixa	
N0102	2000	0+066,6	250	203,18	199,89	198,49	5,55
N0104	2000	0+656,8	250	203,62	200,39	198,99	5,48
N0106	2000	0+984,9	250	200,82	197,89	196,49	5,18
N0202	2000	1+367,4	250	208,18	205,71	204,31	4,72
N0204	2000	1+608,6	250	199,28	196,16	194,76	5,37
N0302	2000	1+898,7	250	202,36	198,87	197,47	5,74
N0402	2000	3+188,8	250	180,35	177,88	176,48	4,73
N0404	2000	3+530,5	250	186,16	184,00	182,60	4,42
N0406	2000	3+965,7	250	179,79	177,65	176,25	4,39
N0408	2000	4+067,6	250	177,27	175,11	173,71	4,41
N0502	2000	4+261,1	250	171,80	169,47	168,07	4,57
N0507	2000	4+572,8	250	152,04	149,55	148,15	4,73
N0509	2000	4+741,6	250	152,65	150,34	148,94	4,56
N0511	2000	5+303,1	250	152,69	150,51	149,11	4,42
N0602	1800	5+760,9	250	152,00	149,71	148,41	4,44
N0603	1800	5+916,0	250	152,00	148,25	146,95	5,90
N0606	1800	6+439,7	250	152,00	149,77	148,47	4,38
N0607	1800	6+615,9	250	152,00	149,87	148,57	4,28
N0610	1800	7+276,7	250	160,30	158,27	156,97	4,18
N0702	1800	8+106,0	250	197,18	194,90	193,60	4,44

Nó	DNconduta (mm)	Distância à origem (km)	DNválvula (mm)	Cotas			Altura total da caixa (m)
				Terreno	Eixo da conduta	Soleira da caixa	
N0704	1800	8+296,5	250	196,41	194,07	192,77	4,50
N0706	1800	8+525,3	250	191,92	189,09	187,79	4,98
N0709	1800	9+038,4	250	205,49	203,23	201,93	4,41
N0711	1800	9+201,9	250	201,95	199,44	198,14	4,66
N0714	1800	9+385,6	250	206,74	203,15	201,85	5,74

## **9. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA DE AUTOMAÇÃO**

### **9.1. Introdução**

As presentes especificações destinam-se a definir as condições que deverão presidir ao estabelecimento das Instalações Elétricas e Automação da ligação ao Reservatório da Bragada (R1), no que diz respeito ao cumprimento das disposições regulamentares em vigor, tendo em conta as condicionantes impostas pelo tipo de exploração a que se destinam.

### **9.2. Dados do Projeto**

#### **9.2.1. Descrição do imóvel e limites da empreitada**

Este volume 1 será constituído apenas pelo troço de Fibra ótica que acompanhará a conduta adutora gravítica (Troço T1) desde a obra de derivação do canal Álamos-Loureiro até à ligação ao novo reservatório da Bragada (R1), a cerca de 10 km de distância.

A obra de derivação do canal Álamos-Loureiro que incluiu uma câmara de medição de caudal está excluída desta empreitada e as respetivas bases de desenho foram-nos fornecidas pelo Dono da obra.

Os limites desta empreitada deverão ser:

- Início – câmara de medição de caudal da obra de derivação do canal Álamos-Loureiro;
- Fim – Vedação do reservatório da Bragada (R1).

Os limites das respetivas infraestruturas deverão ser:

- Cabo de fibra ótica – terá início dentro da câmara de medição de caudal, que servirá como câmara de visita até ao Reservatório R1. Foram previstos nesta empreitada os trabalhos para fazer uma junta com o cabo de fibra ótica da obra de derivação do canal Álamos-Loureiro;
- Tritubo 40 – terá início junto à câmara, com seio suficiente para que fique embebido. Sendo a câmara de medição de caudal excluída, também estão excluídos os trabalhos para embeber o tritubo na parede da câmara.

#### **9.2.2. Âmbito do projeto**

Resumidamente, as instalações elétricas compreendem:

- Fibra ótica - Troço T1 - Ligação ao reservatório R1 (Bragada) (cerca de 10km).

### **9.2.3. Materiais equivalentes**

Todas as marcas e modelos referidos no presente projeto, são meramente indicativos, podendo de acordo com a legislação Nacional e Europeia, os concorrentes propor quaisquer outros equivalentes ou superiores aos referidos neste projeto.

### **9.3. Fibra óptica - Troço T1 - Ligação ao reservatório R1 (Bragada) (cerca de 10km).**

#### **9.3.1. Cabo de fibra óptica**

Deverá ser instalado um cabo de Fibra óptica armado, com 12 fibras, do tipo monomodo 9/125.

#### **9.3.2. Tubagem**

Deverá ser instalada tubagem do tipo Tritubo PEAD 40, para proteção do cabo de fibra óptica.

A acompanhar a tubagem deverá ser instalado uma fita sinalizadora.

#### **9.3.3. Caixas de pavimento exteriores**

A caixa de pavimento exterior tipo está prevista no capítulo de instalação da conduta de água.

O afastamento máximo entre caixas de pavimento exteriores deve ser de 250 m, ou mudanças de direção superiores a 30 graus, de acordo com a nota nº 4 do des. 102.

#### **9.3.4. Valas para assentamento de tubagem**

A vala tipo para assentamento da tubagem está prevista no capítulo de instalação da conduta de água.

## 10. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

### 10.1. Regulamentação

Os critérios a adotar na verificação da segurança estrutural têm como base a regulamentação portuguesa aplicável, nomeadamente:

- RSA – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, 1983;
- REBAP – Regulamento de Estruturas de betão Armado e Pré-Esforçado, 1983;
- NP EN 206 1: 2007 – Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade;
- NP ENV 13670 1: 2007 – Execução de estruturas em betão. Parte 1: Regras Gerais;
- E 464 – 2007. Betões. Metodologia prescritiva para uma vida útil de projeto de 50 e de 100 anos face às ações ambientais;
- E 465 – 2007. Betões. Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil de projeto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS.

Nos casos em que a regulamentação acima mencionada é omissa, menos esclarecedora, inadequada ou tecnicamente menos evoluída, e quando da sua aplicação resultaram situações menos conservativas, foram tomadas em consideração as disposições constantes nas novas especificações e normas nacionais e europeias, ou outra regulamentação aplicável, como:

- NP EN 1990 (2009) – Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas;
- NP EN 1991 (2009) – Eurocódigo 1 - Ações em estruturas;
- NP EN 1992-1-1 (2010) – Eurocódigo 2 - Projeto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- NP EN 1997-1 (2010) – Eurocódigo 7 - Projeto geotécnico – Parte 1: Regras gerais;
- NP EN 1998-1 (2010) – Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios;
- NP EN 1998-5 (2010) – Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspetos geotécnicos.

## 10.2. Materiais e disposições construtivas

Genericamente, foram consideradas as seguintes características para os materiais a utilizar:

- Betões
    - C12/15 – Em betão de regularização e selagem
    - C25/30 – Em Geral
      - Classe de exposição de acordo com a NP EN 206-1 ..... XC2(P)
      - Classe de teor de cloretos..... Cl0,2
      - Classe de abaixamento ..... S3
      - Mínima dosagem de cimento ..... 240 kg/m<sup>3</sup>
      - Máxima razão Água/Cimento ..... 0,65
      - Dimensão máxima dos inertes..... 25 mm
      - Recobrimento mínimo ..... 40 mm
    - C35/45 – Na selagem de equipamentos
      - Classe de exposição de acordo com a NP EN 206-1 ..... XC4(P)
      - Classe de teor de cloretos..... Cl0,4
      - Classe de abaixamento ..... S3
      - Mínima dosagem de cimento ..... 280 kg/m<sup>3</sup>
      - Máxima razão Água/Cimento ..... 0,40
      - Dimensão máxima dos inertes..... 10 mm
      - Recobrimento mínimo ..... 40 mm
  - Aços
    - Armaduras passivas em geral: A500 NR;
    - Armaduras em malhas eletrosoldadas: A500 NR
    - Aço em estruturas metálicas
      - S235 JR – Em tubos, chapas e perfis
      - CL 8.8 – Em chumbadouros e parafusos
- Proteção anticorrosiva de acordo com o C.E.

Nas superfícies exteriores enterradas está prevista uma pintura com tinta com base num composto betuminoso com solventes numa demão.

### 10.3. Verificação da segurança

#### 10.3.1. Ações

Genericamente, as ações consideradas no dimensionamento foram as seguintes:

##### Ações Permanentes:

a) Cargas permanentes relativas ao peso próprio do betão, revestimentos, enchimentos, passeios e guarda-corpos, definidas de acordo com os seguintes parâmetros:

- Peso específico do betão simples .....  $\gamma = 24,0 \text{ kN/m}^3$
- Peso específico do betão armado .....  $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$
- Peso específico do betão do betão de agregados leves .....  $\gamma = 12,0 \text{ kN/m}^3$
- Peso de guarda-corpos.....  $q = 0,5 \text{ kN/ml}$

b) Ação da água:

- Peso específico da água .....  $\gamma = 10,0 \text{ kN/m}^3$

c) Ação do terreno sobre as estruturas, definido de acordo com os seguintes parâmetros:

- Peso próprio .....  $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
- Ângulo de atrito interno.....  $\phi = 35^\circ$
- Coeficiente de impulso ativo.....  $K_a = 0,271$
- Coeficiente de impulso em repouso .....  $K_o = 0,426$

d) Retração do betão:

Na generalidade, sendo uma deformação imposta, a retração foi tida em conta no dimensionamento das armaduras através do controlo indireto da fendilhação.

##### Ações Variáveis:

a) Sobrecargas de utilização:

Em geral, ao nível das sobrecargas de utilização foi considerada uma sobrecarga de  $5,0 \text{ kN/m}^2$ .

a) Sobrecargas em coberturas;

b) Sobrecargas nos aterros:

Em geral, ao nível do terreno foi considerada uma sobrecarga de 10,0 kN/m<sup>2</sup>.

c) Sobrecargas dos equipamentos;

d) Variações uniformes de temperatura;

e) Ação do vento;

f) Ação sísmica.

### 10.3.2. Metodologia de cálculo

A verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos foi efetuada em termos de esforços com base na condição  $E_d \leq R_d$ , sendo  $E_d$  e  $R_d$  respetivamente, os valores de cálculo do esforço atuante e do esforço resistente.

A determinação dos esforços atuantes de cálculo foi efetuada para as combinações fundamentais de ações, tomando cada uma das ações variáveis como ação base da combinação e os respetivos coeficientes de segurança e valores reduzidos das ações.

Foram consideradas as seguintes combinações fundamentais para a verificação aos Estados Limites Últimos:

a) Combinações fundamentais, em geral:

$$E_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} G_{ik} + \gamma_{qi} \left[ Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} Q_{jk} \right]$$

$G_{ik}$  - Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;

$Q_{1k}$  - Esforço resultante da ação variável base tomada com o seu valor característico;

$Q_{jk}$  - Esforço resultante de uma ação variável, distinta da ação de base, tomada com o seu valor característico;

$\gamma_{gi}$  - Coeficiente parcial de segurança relativo às ações permanentes;

$\gamma_{qi}$  - Coeficiente parcial de segurança relativo à ação variável  $i$ ;

$\psi_{0j}$  - Coeficiente de redução  $\psi_0$  correspondente à ação variável de ordem  $j$ .

b) Combinações sísmicas:

$$Ed = \sum_{i=1}^m G_{ik} + A_{Ed} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} Q_{jk}$$

- $G_{ik}$  - Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;
- $A_{Ed}$  - Esforço resultante de uma ação sísmica, tomada, em geral, com o seu valor nominal;
- $Q_{jk}$  - Esforço resultante de uma ação variável, distinta da ação de base, tomada com o seu valor característico;
- $\psi_{2j}$  - Coeficiente de redução  $\psi_2$  correspondente à ação variável de ordem j.

Foram consideradas as seguintes combinações de ações para a verificação aos Estados Limites de Utilização:

- a) Combinações características:

$$Ed = \sum_{i=1}^m G_{ik} + Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} Q_{jk}$$

- $G_{ik}$  - Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;
- $Q_{1k}$  - Esforço resultante da ação variável base tomada com o seu valor característico;
- $Q_{jk}$  - Esforço resultante de uma ação variável, distinta da ação de base, tomada com o seu valor característico;
- $\psi_{0j}$  - coeficiente de redução  $\psi_0$  correspondente à ação variável de ordem j.

- b) Combinações frequentes:

$$Ed = \sum_{i=1}^m G_{ik} + \psi_{1,1} Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} Q_{jk}$$

- $G_{ik}$  - Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;
- $Q_{1k}$  - Esforço resultante da ação variável base tomada com o seu valor característico;
- $Q_{jk}$  - Esforço resultante de uma ação variável, distinta da ação de base, tomada com o seu valor característico;
- $\psi_{ij}$  - Coeficiente de redução  $\psi_i$  correspondente à ação variável de ordem j.

- c) Combinações quase permanentes:

$$Ed = \sum_{i=1}^m G_{ik} + \psi_{2,1} Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} Q_{jk}$$

- $G_{ik}$  - Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;

- $Q_{1k}$  - Esforço resultante da ação variável base tomada com o seu valor característico;
- $Q_{jk}$  - Esforço resultante de uma ação variável, distinta da ação de base, tomada com o seu valor característico;
- $\psi_{2j}$  - Coeficiente de redução  $\psi_2$  correspondente à ação variável de ordem j.

Para a determinação das envolventes de esforços, reações de apoio e deslocamentos nos diversos elementos estruturais, foi utilizado, de um modo geral, modelos cálculo planos ou tridimensionais efetuados com recurso ao programa de cálculo automático SAP2000.

Para garantir a segurança das secções dos elementos estruturais aos Estados Limites Últimos foram genericamente efetuadas as seguintes verificações:

- Estado Limite de Flexão/Flexão Composta;
- Estado Limite de Esforço Transverso

Para garantir a segurança das secções dos elementos estruturais os Estados Limites de Utilização, foram efetuadas as seguintes verificações:

- Estado Limite de Largura de Fendas, limitando o valor  $w_k < 0,3$  mm para as combinações quase-permanentes de ações, para as estruturas em geral, ou limitando o valor  $w_k < 0,1$  mm para as combinações características de ações, nos elementos em contacto com a água;
- Estado Limite de Deformação, limitando o valor da deformação a  $L/250$  para as combinações quase-permanentes de ações, para as estruturas em geral.

A segurança global dos muros de suporte foi verificada em relação aos estados limites últimos de equilíbrio. Os coeficientes de segurança garantidos para os vários estados de equilíbrio foram os seguintes:

<i>Estado de equilíbrio</i>	<i>Combinação normal de ações (Sobrecarga)</i>	<i>Combinação excepcional de ações (Sismo)</i>
Deslizamento	1,5	1,2
Derrubamento	2,0	1,5

Nas curvas em planta e/ou em perfil das condutas foram previstos maciços de amarração de modo a absorver os impulsos provocados pelas pressões interiores nas condutas. Foi considerado um coeficiente de atrito solo-betão de 0,65 e os coeficientes de segurança garantidos para os vários estados de equilíbrio foram os seguintes:

<i>Estado de equilíbrio</i>	<i>Combinação normal de ações (Serviço)</i>	<i>Combinação normal de ações (Sobrepessão)</i>	<i>Combinação excepcional de ações (Ensaio)</i>
Deslizamento	1,5	1,5	1,2
Derrubamento	2,0	2,0	1,5

A verificação da segurança das fundações foi verificada através da comparação entre as tensões atuantes para uma combinação característica de ações e as tensões admissíveis, estabelecidas a partir da prospeção geológico-geotécnica realizada.

## 11. MEDIÇÕES E ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

As medições realizadas basearam-se nos desenhos de projeto, elaborados a nível de Projeto de Execução, abrangendo todos os trabalhos necessários à execução das obras a realizar:

- Condução adutora gravítica para ligação ao novo reservatório da Bragada (R1);
- Travessias especiais do rio Degebe e da ribeira da Azambuja.

Estas medições foram detalhadas, sempre que possível, nos diversos componentes e atividades que compõem cada parte da obra.

A estimativa de custos foi elaborada com base na medição detalhada das quantidades de trabalho a realizar e equipamentos a fornecer e nos respetivos custos unitários de execução, aquisição e instalação.

Relativamente aos equipamentos, foram identificados e individualizados todos os componentes a incluir na empreitada, quer relativamente aos equipamentos eletromecânicos quer às instalações elétricas. O custo dos equipamentos principais, foi obtido por consulta a fabricantes deste tipo de equipamentos, tendo-se acrescentado valores adicionais para transporte até ao local de instalação e incluindo montagem e ensaios como definido no Caderno de Encargos.

Os custos unitários de execução de trabalhos e de materiais foram obtidos utilizando como referência os valores utilizados em estudos e empreitadas recentes.

No Tomo 1.3 são apresentadas as medições detalhadas da empreitada de construção da ligação ao Reservatório da Bragada – R1.

As medições estão divididas em três partes:

- Parte A – Construção Civil;
- Parte B – Equipamentos Eletromecânicos; e
- Parte C – Equipamentos Elétricos.

## 12. PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS

O programa indicativo para a execução do Adutor T1 prevê um prazo global de 20 meses até à entrada em serviço experimental.

Os primeiros 3 meses após a consignação são necessários para o desenvolvimento dos estudos e projetos de execução dos equipamentos por parte dos respetivos adjudicatários, bem como para o aprovisionamento de materiais e confirmação das encomendas dos equipamentos normalizados.

A montagem do estaleiro está prevista no período compreendido entre o mês 2 e o mês 3. O início das obras de construção civil está indicado no mês 4.

Estima-se que a instalação da conduta adutora T1 e respetivos pontos de entrega decorra no período compreendido entre o mês 4 e o mês 16, sendo a instalação de equipamento nos pontos de entrega prevista no período compreendido entre o mês 14 e o mês 17.

Com a conclusão das montagens proceder-se-á aos ensaios de receção durante os meses 18 e 19 prevendo-se o início da entrada em serviço experimental no mês 20.

A desmontagem do estaleiro está prevista no mês 20 após a consignação.

Relativamente às travessias do rio Degebe e da ribeira da Azambuja, a sua execução deverá ser localizada no período estival, entre 15 de junho e 15 de setembro.

As ligações das novas infraestruturas às infraestruturas existentes deverão ser realizadas fora do calendário normal de rega, no mais curto período possível, entre os meses de dezembro e janeiro, com a aprovação do Dono de Obra.

TAREFAS	Meses																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Aprovisionamento de materiais e equipamentos mecânicos e elétricos	█	█	█																	
Montagem de Estaleiro		█	█																	
Instalação da Conduta Adutora T1				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█				
Travessias especiais do Rio Degebe e ribeira da Azambuja						█	█	█	█											
Instalação de equipamento nos pontos de entrega														█	█	█	█			
Ensaio de recepção																		█	█	
Desmontagem de Estaleiro																				█

Figura 12.1 – Programa indicativo dos trabalhos a realizar



Projeto de Execução  
Volume 1 – Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa

**ANEXOS**





Projeto de Execução  
Volume 1 – Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa

**ANEXO I**

---

**Estudos Hidráulicos**





Projeto de Execução  
Volume 1 – Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa  
Anexo I  
Anexo I.1

## **ANEXO I.1**

---

### **Cotas Piezométricas na Ligação ao Circuito de Reguengos**



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. NÍVEIS DE ÁGUA NO CANAL ÁLAMOS-LOUREIRO</b>	<b>2</b>
2.1. CAUDAIS DE DIMENSIONAMENTO	2
2.2. NÍVEIS DE ÁGUA NA OBRA DE ENTRADA NO SIFÃO S1	2
<b>3. PERDAS DE CARGA NO SIFÃO S1</b>	<b>4</b>
3.1. CRITÉRIOS DE CÁLCULO	4
3.2. PERDAS DE CARGA CONTÍNUAS	4
3.3. PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS	4
3.4. PERDAS DE CARGA TOTAIS	6
<b>4. COTAS PIEZOMÉTRICAS NA DERIVAÇÃO PARA REGUENGOS DE MONSARAZ</b>	<b>9</b>
4.1. HIPÓTESES DE FUNCIONAMENTO ANALISADAS	9
4.2. SEM CONTROLO DE NÍVEL	9
4.3. COM CONTROLO DE NÍVEL	10

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Características do canal trapezoidal CT2.....	1
Quadro 2.1 - Níveis extremos de água à entrada do Sifão S1 .....	3
Quadro 3.1 – Perdas de carga no Sifão S1. Cenário A. ....	8
Quadro 3.2 – Perdas de carga no Sifão S1. Cenário B.....	8
Quadro 4.1 – Cenário A, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão. .....	12
Quadro 4.2 – Cenário B, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão. .....	13

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Cenário A. Esquema funcionamento do sifão S1.....	7
Figura 3.2 – Cenário B. Esquema funcionamento do sifão S1. ....	8
Figura 4.1 - Cenário A. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante...10	
Figura 4.2 – Cenário B. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante. .11	



## 1. INTRODUÇÃO

O presente anexo respeita à nota justificativa da determinação das cotas dos níveis extremos de água na entrada do Sifão S1 do Canal Álamos-Loureiro e as consequentes cotas piezométricas na ligação ao Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz.

A tomada de água para derivação de caudais para o circuito de Reguengos de Monsaraz será feita no troço de ligação entre as albufeiras dos Álamos e do Loureiro, através de uma picagem DN1800 a ser executada cerca do km 5+524 do circuito Álamos-Loureiro, diretamente numas das condutas do Sifão S1.

O troço do circuito Álamos-Loureiro a montante do sifão S1 é um troço em canal aberto, CT2, de secção trapezoidal de betão com as seguintes características:

**Quadro 1.1 - Características do canal trapezoidal CT2**

Largura da soleira (m)	3,00
Inclinação das espaldas (V/H)	1 / 1,3
Declive longitudinal da soleira (%)	0,123
Altura da secção (m)	4,50

O sifão S1 é uma estrutura já existente constituída pelos seguintes elementos:

- Obra de entrada: constituída por uma estrutura de transição canal-conduta (que permite a passagem do escoamento em superfície livre para escoamento em pressão), com entrada para as condutas composta por quatro vãos com 2,90 m de largura e com ranhuras para colocação de comportas ensecadeiras com dimensões de 2,90 x 4,50 m<sup>2</sup>.
- Obra de saída no sifão: constituída por uma estrutura de transição conduta-canal simétrica à obra de entrada (que permite a transição do escoamento em pressão para o escoamento em superfície livre) com quatro vãos de 2,90m de largura para ligação das condutas, com ranhuras para instalação de comportas ensecadeiras na saída para o canal e com os orifícios de saída para o canal também protegidos por grelhas metálicas em cada uma das duas condutas.
- Quatro tubagens paralelas com diâmetro interior de 2500 mm (com tubos pré fabricados de betão armado com alma de aço, instalados em vala) com um desenvolvimento de 1332,50 m.

## 2. NÍVEIS DE ÁGUA NO CANAL ÁLAMOS-LOUREIRO

### 2.1. Caudais de Dimensionamento

O dimensionamento hidráulico da Tomada de Água para o circuito de Reguengos de Monsaraz foi efetuado tendo em consideração as seguintes condições de fronteira:

- Adução de um caudal de 4 m<sup>3</sup>/s ao Circuito Hidráulico de Reguengos de Monsaraz;
- De acordo com o projeto de execução do Canal Álamos-Loureiro, o dimensionamento do Canal foi efetuado para os seguintes valores limite de caudal:
  - o Caudal máximo a derivar para a albufeira do Loureiro é de 37 m<sup>3</sup>/s;
  - o Em situação extrema, o caudal mínimo a aduzir à albufeira do Loureiro é de 10 m<sup>3</sup>/s.

Foi para estes valores de caudal que se determinaram as alturas máxima e mínima de água no canal à entrada do sifão S1.

### 2.2. Níveis de água na Obra de Entrada no Sifão S1

A determinação dos níveis de água no canal para cada um dos valores de caudal acima referidos foi efetuada com base nas seguintes considerações:

- escoamento em regime uniforme ao longo do troço do canal trapezoidal a montante do Sifão S1;
- a cota do nível de água na obra de entrada do sifão é igual à cota do nível de água na secção do canal a montante;
- utilização da fórmula de Manning-Strickler para o cálculo da relação entre o caudal e a altura uniforme no canal trapezoidal a céu aberto a montante do sifão,  $Q = K \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/2}$  em que, **Q** é caudal de dimensionamento (m<sup>3</sup>/s), **K** é o coeficiente da fórmula de Manning-Strickler (75 m<sup>1/3</sup>/s), **A** é a área da secção (m<sup>2</sup>), **R** é o raio hidráulico (m) e **s** é o declive longitudinal do canal (-).

Obtêm-se assim os seguintes valores para altura de escoamento e a cota do nível de água, tendo em conta a cota do rasto do canal a montante do sifão de 221,29.

**Quadro 2.1 - Níveis extremos de água à entrada do Sifão S1**

<b>Caudal aduzido (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Altura uniforme do escoamento (m)</b>	<b>Cota do Nível de Água (-)</b>
37,0	3,70	224,99
14,0	2,33	223,62

### 3. PERDAS DE CARGA NO SIFÃO S1

#### 3.1. Critérios de cálculo

O cálculo das perdas de carga no sifão foi efetuado admitindo diferenças entre o caudal que se escoia em cada uma das tubagens do sifão devido à derivação de um caudal de 4 m<sup>3</sup>/s para o circuito de Reguengos.

Foram consideradas os seguintes critérios:

- o comprimento dos sifões corresponde à distância em planta entre a secções inicial e final, respectivamente, das estruturas de entrada e saída;
- os valores do coeficiente de perda de carga nas secções de entrada e de saída englobam as perdas de carga nas transições e nas grelhas;
- desprezaram-se as perdas de carga nas secções de derivação para a descargas de fundo e para a estrutura de arejamento.

#### 3.2. Perdas de carga contínuas

A perda de carga unitária ao longo das tubagens que constituem o sifão foi calculada pela fórmula de Colebrook White, considerando que o valor da viscosidade cinemática é 1,01x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s (correspondente a uma temperatura da água de 20º C) e que a rugosidade absoluta é 0,3 mm nas condutas de betão.

#### 3.3. Perdas de carga localizadas

As perdas de carga localizadas nas diversas singularidades foram calculadas a partir da seguinte fórmula:

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

em que, K é o fator de perda de carga da singularidade (-), v é a velocidade média do escoamento (m/s) e g é aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

##### Estreitamento

$$K_{estreitamento} = \left( \frac{S_1}{S_2} - 1 \right)^2$$

Obteve-se o valor :  $K_{estreitamento} = 0,14$

### Grelha

Considerou-se uma grelha metálica de secção retangular alongada, composta por barras com 10 mm de espessura, 100 mm de largura e com um afastamento entre eixos de 200 mm.

Para estas condições, o coeficiente de perda de carga na grelha pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$K_{grelha} = K_c \times K_f \times p^{1,6} \times f \left( \frac{b}{a} \right) \times \text{sen}\varphi$$

em que:

$k_d$  – o coeficiente de colmatação da grelha que, para o caso, se considerou um valor igual a **1,2**

$k_f$  – o coeficiente de forma da secção transversal da grelha que assume o valor **0,51**

$p$  – a relação entre a área obstruída pela grelha e a área total, igual a **10/200**

$f$  – igual a  $8 + 2,3 \left( \frac{b}{a} \right) + 2,4 \left( \frac{a}{b} \right)$ , sendo **a** o espaço livre entre barras e **b** a dimensão das barras no sentido do escoamento. Para o caso em análise, o valor de **f** é de **13,77**.

$\varphi$  - o ângulo da grelha com a horizontal, igual a **80°**.

Obtém-se o valor final:  $K_{grelha} = 0,208$

### Curvas

Para determinação do valor do coeficiente de perda de carga em curvas recorreu-se ao diagrama relativo a *Perdas de Carga Provocadas por Curvas Circulares*, figura 9.7 de “Hidráulica” – A.C. Quintela:

1 Curva a 22,30°,  $K = 0,08$

4 Curvas a 11,15°,  $K = 4 \times 0,06 = 0,22$

### Derivação

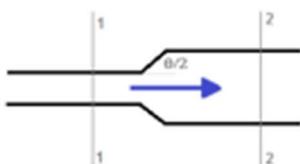
Para avaliar o valor da perda de carga na secção da derivação para o circuito de Reguengos utilizou-se o diagrama 7.25 do “Memento des Pertes de Charge” – I.E IDEL’CIK, a partir da qual é possível determinar o coeficiente de perda de carga no troço rectilíneo em função do ângulo da derivação (90°) e das velocidades do escoamento nas diferentes secções para cada um dos cenários analisados.

### Alargamento

O coeficiente de perda de carga no alargamento pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$K_{alargamento} = C_e(1 - \beta^2)^2$$

em que  $C_e$  é definido em função do ângulo  $\theta$ :



$$C_e = \begin{cases} 2,6 \operatorname{sen}(\theta/2) & \text{para } \theta \leq 45^\circ \\ 1 & \text{para } \theta > 45^\circ \end{cases}$$

e,

$$\beta^2 = \frac{S_2}{S_1}$$

$$C_e = 0,889$$

$$\text{Obtém-se assim: } K_{alargamento} = 0,334$$

### 3.4. Perdas de carga totais

A determinação das perdas de carga no sifão foi realizada para as duas situações extremas em termos de caudal aduzido pelo canal Álamos-Loureiro, as quais se traduzirão também nas duas situações extremas de valor das perdas de carga:

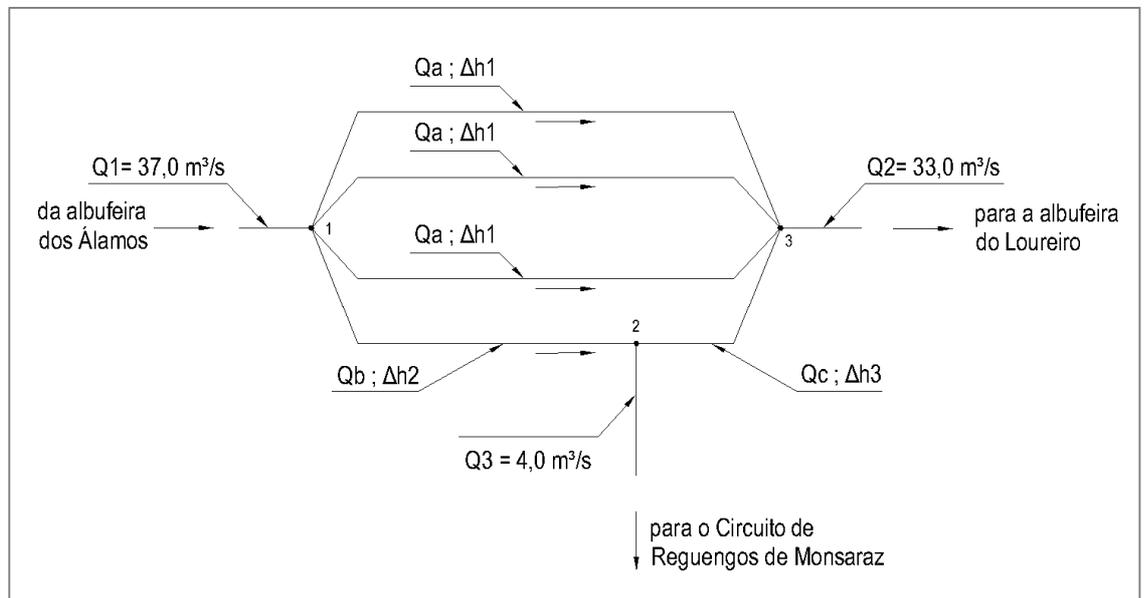
- Para o caudal máximo de 37,0 m<sup>3</sup>/s
- Para o caudal mínimo de 14,0 m<sup>3</sup>/s

e admitindo a derivação de 4,0 m<sup>3</sup>/s para o circuito de Reguengos de Monsaraz.

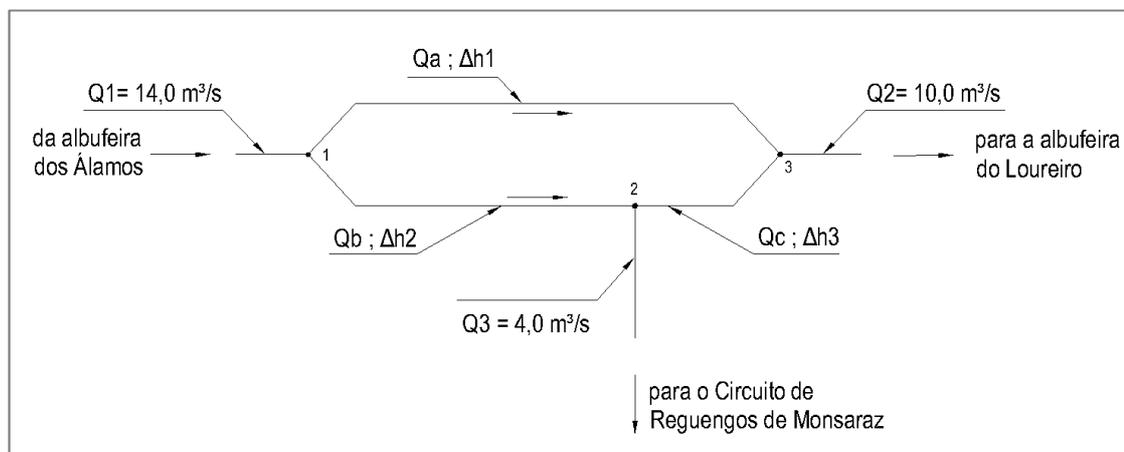
Admitiu-se que para o Cenário A, de adução de 37,0 m<sup>3</sup>/s, estarão em funcionamento as quatro condutas do sifão (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) e que para o Cenário B, de adução de 14,0 m<sup>3</sup>/s, estarão em funcionamento apenas duas daquelas condutas (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

A determinação das perdas de carga em cada um destes cenários foi obtida, em cada um dos cenários, a partir da distribuição do caudal pelas condutas, por equilíbrio de caudais e de cotas piezométricas nos nós, e considerando as seguintes hipóteses simplificativas:

- A cota do nível de água na estrutura de entrada do sifão é o equivalente à cota da altura de água em regime de escoamento uniforme na secção do canal imediatamente a montante do sifão;
- A cota do nível de água na estrutura de saída do sifão é o equivalente à cota da altura de água em regime de escoamento uniforme na secção do canal imediatamente a jusante do sifão.



**Figura 3.1 – Cenário A. Esquema funcionamento do sifão S1.**



**Figura 3.2 – Cenário B. Esquema funcionamento do sifão S1.**

Obtiveram-se assim a seguinte distribuição de caudais e respetivos valores de perda de carga nos diferentes troços das condutas:

**Quadro 3.1 – Perdas de carga no Sifão S1. Cenário A.**

Conduto/troço	Características gerais					Coeficientes de perda de carga		Perdas de carga		
	Di (m)	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Continua (m/m)	Localizada, K (-)	Δhcont. (m)	Δhlocal. (m)	ΔhTotal (m)
nº 1, 2, 3 Troço 1-3	2.50	4.91	1332.50	9.21	1.88	0.00092	1.194	1.221	0.214	1.435
nº 4 Troço 1-2	2.50	4.91	1212.50	9.36	1.91	0.00095	0.651	1.146	0.121	1.267
nº 4 Troço 2-3	2.50	4.91	120.00	5.36	1.09	0.00032	2.131	0.038	0.130	0.167

As equações de perda para cada um dos diferentes troços das condutas são as seguintes:

**Quadro 3.2 – Perdas de carga no Sifão S1. Cenário B.**

Conduto/troço	Características gerais					Coeficientes de perda de carga		Perdas de carga		
	Di (m)	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Continua (m/m)	Localizada, K (-)	Δhcont. (m)	Δhlocal. (m)	ΔhTotal (m)
nº 1 Troço 1-3	2.50	4.91	1332.50	6.916	1.41	0.00052	1.194	0.693	0.121	0.814
nº 2 Troço 1-2	2.50	4.91	1212.50	7.084	1.44	0.00055	0.651	0.662	0.069	0.731
nº 2 Troço 2-3	2.50	4.91	120.00	3.084	0.63	0.00011	3.512	0.013	0.071	0.084

## 4. COTAS PIEZOMÉTRICAS NA DERIVAÇÃO PARA REGUENGOS DE MONSARAZ

### 4.1. Hipóteses de funcionamento analisadas

Para a determinação do valor das cotas piezométricas máxima e mínima na derivação para o circuito de Reguengos foram admitidas duas hipóteses de funcionamento:

- Uma, em que as comportas da obra de saída do Sifão estão totalmente abertas, pelo que não há controlo do nível de água a montante do sifão;
- Outra, em que a abertura das comportas da obra de saída do Sifão é parcializada de modo a permitir controlar o nível de água na obra de entrada do sifão S1 para um nível constante correspondente ao nível máximo de funcionamento no canal Álamos-Loureiro, ou seja, a cota 224,99 (ver secção 2.2).

### 4.2. Sem controlo de nível

Nesta situação, a cota piezométrica na derivação é obtida pela subtração do valor de perda carga associada à derivação de 4,0 m<sup>3</sup>/s e da perda de carga que se verifica no troço da conduta do sifão a montante da derivação (ver quadros do capítulo anterior, troço 1-2), à cota do nível de água na obra de entrada no sifão.

Para a determinação da perda de carga que ocorre na entrada de caudal na conduta de derivação recorreu-se ao diagrama 7.25 do “Memento des Pertes de Charge” – I.E IDEL’CIK, a partir do qual é possível determinar o coeficiente de perda de carga na derivação em função do ângulo da derivação (90°) e das velocidades do escoamento nas diferentes secções para cada um dos cenários analisados no capítulo anterior.

Assim, obtiveram-se os seguintes coeficientes de perda de carga associados à derivação de 4,0 m<sup>3</sup>/s:

- Cenário A:  $K = 2,51$  (admitindo que no sifão o caudal é escoado por 4 condutas);
- Cenário B:  $K = 1,59$  (admitindo que no sifão o caudal é escoado por 2 condutas).

A conduta de derivação tem 1,8 m de diâmetro pelo que a velocidade do escoamento será de 1,57 m/s, obtendo-se assim um valor da perda de carga de 0,32 m no Cenário A e de 0,20 m no Cenário B.

Deste modo, as cotas piezométricas na derivação para o circuito de Reguengos serão as seguintes:

- Cenário A: Cota piezométrica =  $224,99 - 1,267 - 0,32 = 223,40$ ;

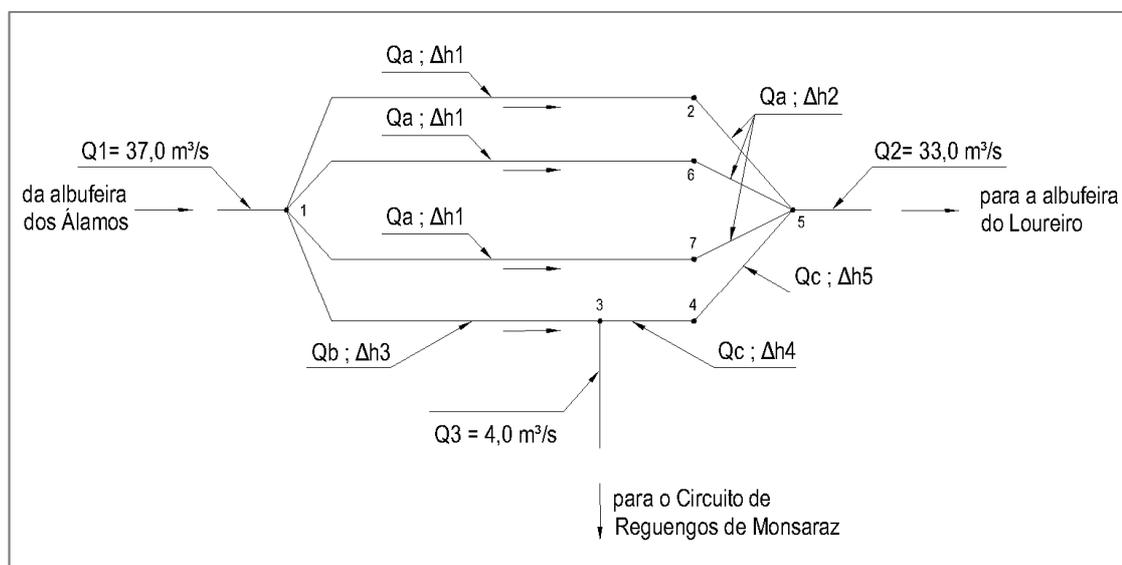
– Cenário B: Cota piezométrica=  $223,62 - 0,731 - 0,20 = 222,69$ .

### 4.3. Com controlo de nível

Nesta situação, a regulação do nível de água na obra de entrada do sifão é conseguida através da parcialização da abertura das comportas, a qual é condicionada por dois aspetos:

- Para maior eficácia na exploração do sistema, as comportas que estiverem em serviço deverão apresentar o mesmo grau de abertura;
- Para evitar o desgaste prematuro das comportas e respetivas juntas, não deve ser considerado um valor de parcialização inferior a 20%, ou seja, tendo em consideração que a abertura total da comporta corresponde a uma área de  $2,9 \times 3,70 \text{ m}^2$ , a área da secção parcializada não deverá ser inferior a  $2,15 \text{ m}^2$ .

Tendo em consideração as referidas limitações, determinaram-se as condições extremas de operação das comportas para os cenários acima definidos, os quais que se esquematizam nas figuras seguintes.

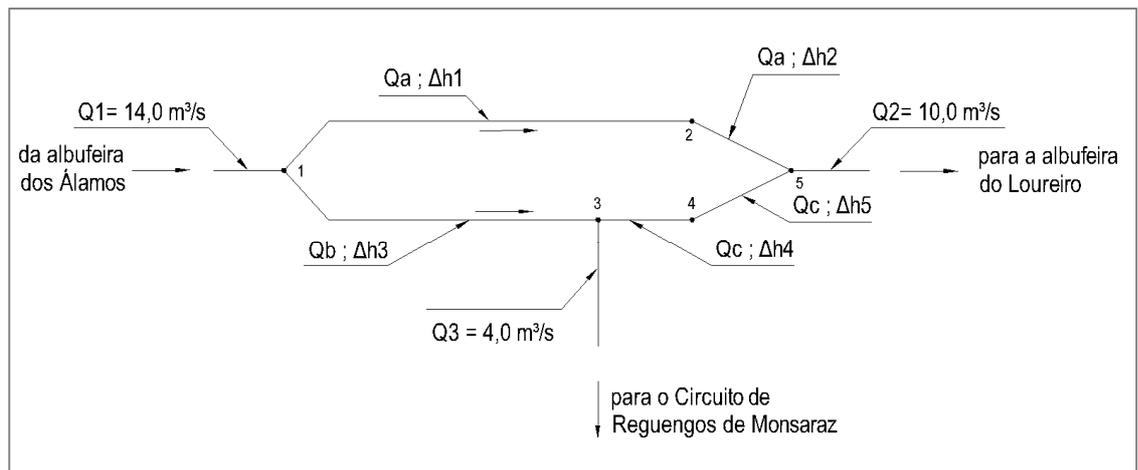


**Figura 4.1 - Cenário A. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante.**

Os Nós 1 e 5 correspondem, respetivamente, às estruturas de entrada e de saída do sifão.

O Nó 3 corresponde à derivação para o circuito de Reguengos de Monsaraz.

Os Nós 2, 4, 6 e 7 correspondem às comportas que irão a regular o nível de água na obra de entrada do sifão.



**Figura 4.2 – Cenário B. Esquema funcionamento do sifão com controlo de nível a montante.**

A determinação da cota piezométrica na derivação para o Circuito de Reguengos de Monsaraz foi efetuada à semelhança do cálculo realizado para a determinação das perdas de carga em cada um dos cenários, pela distribuição do caudal pelas condutas, obtida pelo equilíbrio de caudais e de cotas piezométricas nos nós, considerando os coeficientes de perda de carga determinados no Capítulo 3 e as seguintes hipóteses simplificativas:

- A cota do nível de água na estrutura de entrada do sifão é o equivalente à cota da altura de água em regime de escoamento uniforme na secção do canal imediatamente a montante do sifão;
- A cota do nível de água na estrutura de saída do sifão é o equivalente à cota da altura de água em regime de escoamento uniforme na secção do canal imediatamente a jusante do sifão.
- O escoamento nas comportas da estrutura de saída é equivalente ao escoamento num orifício submerso, e é dado por:

$$Q = C_c A \sqrt{2g\Delta hc}$$

sendo,

$C_c$  – Coeficiente de contração, 0,6;

$A$  – área da secção parcializada,  $m^2$ ;

$g$  – aceleração da gravidade,  $9,81 m/s^2$ ;

$\Delta h_c$  – diferença entre os níveis de água a montante e a jusante da comporta (perda de carga), m.

**Quadro 4.1 – Cenário A, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão.**

Conduta / troço		Caudal ( $m^3/s$ )			Abertura da comporta ( $m^2$ )	Perda de carga (m)				
		Qa	Qb	Qc		$\Delta h_1$	$\Delta h_2$	$\Delta h_3$	$\Delta h_4$	$\Delta h_5$
Nº1	1-2	9.03	-	-	-	1.33	-	-	-	-
	2-5	9.03	-	-	6.85	-	0.25	-	-	-
Nº2	1-6	9.03	-	-	-	1.33	-	-	-	-
	6-5	9.03	-	-	6.85	-	0.25	-	-	-
Nº3	1-7	9.03	-	-	-	1.33	-	-	-	-
	7-5	9.03	-	-	6.85	-	0.25	-	-	-
Nº4	1-3	-	9.90	-	-	-	-	1.40	-	-
	3-4	-	-	5.90	-	-	-	-	0.072	-
	4-5	-	-	5.90	6.85	-	-	-	-	0.11

Assim, para o Cenário A, a cota piezométrica a montante da derivação é obtida pela subtração do valor de perda carga que se verifica no troço da conduta do sifão a montante da derivação,  $\Delta h_3$ , à cota do nível de água na obra de entrada no sifão, ou seja,  $224,99 - 1,40 = 223,59$ , sendo necessária a parcialização da secção das comportas em 64%.

No Cenário B, de modo respeitar o valor mínimo de 20% de parcialização da abertura da comporta, será necessário que a conduta que possui a derivação escoe apenas o caudal de  $4 m^3/s$  para o circuito de Reguengos, enquanto que o escoamento do caudal de  $10 m^3/s$  para a albufeira do Loureiro será assegurado apenas por uma das outras condutas do sifão. Para tal, a comporta de jusante da conduta com derivação deverá estar fechada e na outra conduta a abertura da comporta deverá ser parcializada em 29%.

**Quadro 4.2 – Cenário B, com controlo do nível de água a montante. Perdas de carga no sifão.**

Conduta / troço		Caudal (m <sup>3</sup> /s)			Abertura da comporta (m <sup>2</sup> )	Perda de carga (m)				
		Qa	Qb	Qc		Δh1	Δh2	Δh3	Δh4	Δh5
Nº1	1-2	10.0	-	-	-	1.69	-	-	-	-
	2-5	10.0	-	-	3.16	-	1.42	-	-	-
Nº4	1-3	-	4.0	-	-	-	-	0.23	-	-
	3-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Assim, para o Cenário B, a cota piezométrica a montante da derivação é obtida pela subtração do valor de perda carga que se verifica no troço da conduta do sifão a montante da derivação, Δh<sub>3</sub>, à cota do nível de água na obra de entrada no sifão, ou seja, 224,99 – 0,23 = 224,76.





Projeto de Execução  
Volume 1 –Ligação da Tomada de Água ao Reservatório da Bragada  
Tomo 1.1 – Memória Descritiva e Justificativa  
Anexo I  
Anexo I.2

**ANEXO I.2**

---

**Dimensionamento Hidráulico do Adutor T1**



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. PERDAS DE CARGA</b>	<b>4</b>
2.1. PERDAS DE CARGA CONTÍNUAS	4
2.2. PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS	4
2.3. PERDAS DE CARGA TOTAIS	7
2.4. EXPRESSÕES DE PERDA DE CARGA GENERALIZADAS	8
<b>3. DIMENSIONAMENTO DO ADUTOR T1</b>	<b>10</b>
3.1. SITUAÇÕES DE FUNCIONAMENTO ANALISADAS	10
3.2. DIMENSIONAMENTO	10
<b>4. DIMENSIONAMENTO DO ÓRGÃO DE REGULAÇÃO DE CAUDAL</b>	<b>14</b>
4.1. REGULAÇÃO A REALIZAR	14
4.2. DIMENSIONAMENTO DO ÓRGÃO DE REGULAÇÃO	15
4.3. VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO ÓRGÃO DE REGULAÇÃO	17

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Características do Adutor T1.....	1
Quadro 1.2 – Caudais a derivar para as redes secundárias de rega.....	2
Quadro 1.3 – Caudais de dimensionamento, admitindo consumos de percurso .....	2
Quadro 2.1 – Coeficientes de perda de carga nas curvas.....	5
Quadro 2.2 – Coeficientes de perda de carga nas derivações.....	5
Quadro 2.3 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1. Cenário 1, com consumos de percurso .....	7
Quadro 2.4 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1. Cenário 2, sem consumos de percurso .....	7
Quadro 2.5 – Adutor T1. Expressões de perda de carga generalizadas no Cenário 1.....	9
Quadro 2.6 - Adutor T1. Expressões de perda de carga generalizadas no Cenário 2.....	9
Quadro 3.1 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação A .....	11
Quadro 3.2 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação A.....	12
Quadro 3.3 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação B .....	12
Quadro 3.4 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação B .....	13
Quadro 4.1 - Coeficientes de caudal Kv para válvulas de Borboleta tipo Eurostop .....	15
Quadro 4.2 – Valores do coeficiente de cavitação .....	16
Quadro 4.3 – Determinação do ângulo de abertura da válvula e perda de carga provocada .....	16
Quadro 4.4 – Verificação da Cavitação.....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Caudais aduzidos pelo adutor T1 em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, para os cenários extremos da sua exploração .....	18
Figura 4.2 – Ângulo de abertura da válvula de borboleta em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada .....	19

## 1. INTRODUÇÃO

O Adutor T1 estabelece a ligação entre o Canal Álamos-Loureiro e o reservatório da Bragada (R1) e possui ao longo da sua extensão seis derivações para redes de rega secundárias.

A origem de água é a albufeira dos Álamos sendo a tomada de água para o circuito de Reguengos feita diretamente no Sifão S1 do Circuito Álamos-Loureiro.

A tomada de água é constituída por tubagem de aço e apresenta um desenvolvimento total de 15,45 m (14,0m em DN1800 e 1,45m em DN2000).

Para efeitos do dimensionamento hidráulico, os principais elementos que constituem a tomada de água, no sentido de montante para jusante, são os seguintes:

- Derivação na tubagem do sifão constituída por tê de redução de betão armado com alma de aço, de DN 2500x1800);
- Válvula de borboleta DN1800;
- Cone divergente de aço DN1800/DN2000.

O adutor T1 é um adutor gravítico e apresenta um desenvolvimento total de 9 715 m, sendo constituído pelos seguintes troços principais:

**Quadro 1.1 – Características do Adutor T1**

Nó		pK		Características Gerais		
Montante	Jusante	Montante	Jusante	Material	Di (m)	L (m)
N01	N02	0+000.00	1+112.05	AÇO_PE	2.00	1112.05
N02	N03	1+112.05	1+665.99	AÇO_PE	2.00	553.94
N03	N04	1+665.99	2+168.10	AÇO_PE	2.00	502.11
N04	N05	2+168.10	4+097.87	AÇO_PE	2.00	1929.77
N05	N06	4+097.87	5+418.82	AÇO_PE	2.00	1320.95
N06	N06.13	5+418.82	7+480.00	AÇO_PE	1.80	2061.18
N06.13	N07	7+480.00	7+773.15	BAA	1.80	293.15
N07	N08	7+773.15	9+714.76	BAA	1.80	1941.61

O caudal a derivar para o circuito de Reguengos de Monsaraz é de 4 m<sup>3</sup>/s, ao longo de 24 horas.

Os caudais a derivar para as redes secundárias de rega resultaram do dimensionamento efetuado para as mesmas (consultar Volume 5 deste projeto) e são os seguintes:

**Quadro 1.2 – Caudais a derivar para as redes secundárias de rega**

Nó	Caudal (m³/s)
N02	0.081
N03	0.072
N04	0.133
N05	0.199
N06	0.119
N07	0.389

Prevê-se o seguinte funcionamento para o Adutor T1:

- Adução de um caudal de 4 m³/s, em 24 horas;
- O caudal que não for derivado para a rede de rega secundária será aduzido ao reservatório de Bragada (R1);
- A regulação do caudal de 4 m³/s será assegurada pela válvula de borboleta motorizada, instalada na tomada de água.

Assim, os caudais de dimensionamento de cada trecho do adutor, admitindo a ocorrência de consumos de percurso são os seguintes:

**Quadro 1.3 – Caudais de dimensionamento, admitindo consumos de percurso**

Nó		pK		Q (m³/s)
Montante	Jusante	Montante	Jusante	
N01	N02	0+000.00	1+112.05	4.000
N02	N03	1+112.05	1+665.98	3.919
N03	N04	1+665.98	2+168.11	3.847
N04	N05	2+168.11	4+097.87	3.714
N05	N06	4+097.87	5+418.82	3.515
N06	N06.13	5+418.82	7+480.00	3.396
N06.13	N07	7+480.00	7+773.15	3.396
N07	N08	7+773.15	9+714.76	3.007



Durante os períodos em que não há consumo das redes secundárias os 4 m<sup>3</sup>/s serão aduzidos para o reservatório de Bragada sendo, portanto, esse o caudal de dimensionamento.

## 2. PERDAS DE CARGA

### 2.1. Perdas de carga contínuas

A perda de carga unitária ao longo das tubagens que constituem a tomada de água e o adutor foi calculada pela fórmula de Colebrook-White, considerando que o valor da viscosidade cinemática é  $1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (correspondente a uma temperatura da água de 20º C) e que a rugosidade absoluta é de 0,09 mm nas condutas de aço e de 0,3 mm nas condutas de betão.

### 2.2. Perdas de carga localizadas

As perdas de carga localizadas nas diversas singularidades foram calculadas a partir da seguinte fórmula:

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

em que, K é o fator de perda de carga da singularidade (-), v é a velocidade média do escoamento (m/s) e g é aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

**Na tomada de água:**

#### Derivação

Para avaliar o valor da perda de carga na secção da derivação para o circuito de Reguengos utilizou-se o diagrama 7.21 do “*Memento des Pertes de Charge*” – I.E IDEL’CIK, a partir da qual é possível determinar o coeficiente de perda de carga no troço lateral em função do ângulo da derivação (90º) e das velocidades do escoamento nas diferentes secções, obtendo-se o valor:

$$K_{\text{derivação}} = 1,53$$

#### Válvula de borboleta

Para determinação do coeficiente de perda de carga da válvula de borboleta DN1800, quando totalmente aberta, recorreu-se a tabelas de fabricantes obtendo-se o valor:

$$K_{\text{Válvula borboleta}} = 0,21$$

#### Cone Divergente

O coeficiente de perda de carga no divergente foi obtido pelo diagrama 5.2 do “*Memento des Pertes de Charge*” – I.E IDEL’CIK, a partir da qual é possível determinar o coeficiente de perda de carga no troço rectilíneo em função do ângulo da derivação (90º) e das velocidades do escoamento nas diferentes secções, obtendo-se o valor:

$$K_{divergente} = 0,01$$

**No adutor:**

### Curvas

Para determinação do valor do coeficiente de perda de carga em curvas recorreu-se ao diagrama 6.1 do “*Memento des Pertes de Charge*” – I.E IDEL’CIK, tendo-se adotado os seguintes valores:

**Quadro 2.1 – Coeficientes de perda de carga nas curvas**

Troço		Ângulo da Curva	K
Montante	Jusante		
N01	N02	37°	0,11
N03	N04	32°	0,10
N06	N07	80°	0.20
N07	N08	22°30’	0,07
		30°	0,09

### Derivações

Para avaliar o valor da perda de carga nos nós onde são feitas as derivações de caudal para as redes secundárias de rega utilizou-se o diagrama 7.23 do “*Memento des Pertes de Charge*” – I.E IDEL’CIK, a partir da qual é possível determinar o coeficiente de perda de carga no troço rectilíneo em função do ângulo da derivação (90°) e das velocidades do escoamento nas diferentes secções, obtendo-se os seguintes valores:

**Quadro 2.2 – Coeficientes de perda de carga nas derivações**

Nó	K <sub>derivação</sub>
N02	0,000043
N03	0,000133
N04	0,000471
N05	0,001
N06	0,05
N07	0,005

### Cone Convergente

O coeficiente de perda de carga no convergente foi obtido pelo diagrama 3.7 do “*Memento des Pertes de Charge*” – I.E IDEL’CIK, obtendo-se o valor:

$$K_{Convergente} = 0,05$$

### **Na entrada no reservatório:**

#### Alargamento brusco

Na entrada no reservatório verificar-se-á uma perda de carga correspondente à energia cinética total, a que corresponde um coeficiente de perda de carga de,  $K=1,00$ .

#### Grelha

Considerou-se uma grelha metálica de secção retangular alongada, composta por barras com 10 mm de espessura, 100 mm de largura e com um afastamento entre eixos de 200 mm.

Para estas condições, o coeficiente de perda de carga na grelha pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$K_{grelha} = K_c \times K_f \times p^{1,6} \times f \left( \frac{b}{a} \right) \times \text{sen}\varphi$$

em que:

$k_d$  – o coeficiente de colmatação da grelha que, para o caso, se considerou um valor igual a **2**

$k_f$  – o coeficiente de forma da secção transversal da grelha que assume o valor **0,51**

$p$  – a relação entre a área obstruída pela grelha e a área total, igual a **10/200**

$f$  – igual a  $8 + 2,3 \left( \frac{b}{a} \right) + 2,4 \left( \frac{a}{b} \right)$ , sendo **a** o espaço livre entre barras e **b** a dimensão das barras no sentido do escoamento. Para o caso em análise, o valor de **f** é de **13,77**.

$\varphi$  – o ângulo da grelha com a horizontal, igual a **90°**.

Obtém-se o valor final:  $K_{grelha} = 0,116$

### 2.3. Perdas de carga totais

Foram calculadas as perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1 para os dois cenários de dimensionamento: com e sem consumo de percurso.

Os valores obtidos são apresentados nos quadros seguintes.

**Quadro 2.3 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1. Cenário 1, com consumos de percurso**

Elemento	Troço		Características gerais				Coeficiente de perdas de carga		Perdas de carga		
			Di (m)	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Contínuas (m/m)	Localizadas (K) (-)	h <sub>c</sub> (m)	h <sub>s</sub> (m)	h <sub>T</sub> (m)
Tomada de água	N00	N00.1	1.80	14.00	4.000	1.57	0.00081	1.748	0.011	0.220	0.231
	N00.1	N01	2.00	1.45	4.000	1.27	0.00047	0.000	0.001	0.000	0.001
Adutor T1	N01	N02	2.00	1112.05	4.000	1.27	0.00047	0.109	0.528	0.009	0.537
	N02	N03	2.00	553.94	3.919	1.25	0.00046	0.000	0.253	0.000	0.253
	N03	N04	2.00	502.11	3.847	1.22	0.00044	0.098	0.221	0.007	0.228
	N04	N05	2.00	1929.77	3.714	1.18	0.00041	0.000	0.794	0.000	0.794
	N05	N06	2.00	1320.95	3.515	1.12	0.00037	0.001	0.489	0.000	0.489
	N06	N06.13	1.80	2061.18	3.396	1.33	0.00059	0.306	1.212	0.028	1.240
	N06.13	N07	1.80	293.15	3.396	1.33	0.00069	0.000	0.203	0.000	0.203
N07	N08	1.80	1941.61	3.007	1.18	0.00055	1.285	1.060	0.091	1.151	
<b>Δh Total</b>									<b>4.771</b>	<b>0.356</b>	<b>5.127</b>

**Quadro 2.4 – Perdas de carga na tomada de água e no Adutor T1. Cenário 2, sem consumos de percurso**

Elemento	Troço		Características gerais				Coeficiente de perdas de carga		Perdas de carga		
			Di (m)	L (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Contínuas (m/m)	Localizadas (K) (-)	h <sub>c</sub> (m)	h <sub>s</sub> (m)	h <sub>T</sub> (m)
Tomada de água	N00	N00.1	1.80	14.00	4.00	1.57	0.00081	1.748	0.011	0.220	0.231
	N00.1	N01	2.00	1.45	4.00	1.27	0.00047	0.000	0.001	0.000	0.001
Adutor T1	N01	N02	2.00	1112.05	4.00	1.27	0.00047	0.109	0.528	0.009	0.537
	N02	N03	2.00	553.94	4.00	1.27	0.00047	0.000	0.263	0.000	0.263

Elemento	Troço		Características gerais				Coeficiente de perdas de carga		Perdas de carga		
	N03	N04	2.00	502.11	4.00	1.27	0.00047	0.098	0.238	0.008	0.246
	N04	N05	2.00	1929.77	4.00	1.27	0.00047	0.000	0.915	0.000	0.915
	N05	N06	2.00	1320.95	4.00	1.27	0.00047	0.001	0.627	0.000	0.627
	N06	N06.13	1.80	2061.18	4.00	1.57	0.00081	0.306	1.662	0.039	1.700
	N06.13	N07	1.80	293.15	4.00	1.57	0.00096	0.000	0.280	0.000	0.280
	N07	N08	1.80	1941.61	4.00	1.57	0.00096	1.295	1.857	0.163	2.021
<b>Δh Total</b>									<b>6.382</b>	<b>0.439</b>	<b>6.821</b>

## 2.4. Expressões de perda de carga generalizadas

Conforme já referido, o Adutor T1 efetua a alimentação gravítica ao reservatório de Bragada a partir do circuito Álamos-Loureiro. Este adutor, com origem na câmara da Tomada de Água, é constituído por um adutor de extensão 9,7 km e de diâmetros nominais de 2000 mm e 1800 mm, e no qual são realizadas seis derivações para redes de rega secundárias.

Nos capítulos anteriores foram apresentadas as principais características do Adutor bem como os valores de perda de carga no sistema para os diferentes caudais de dimensionamento.

Com a finalidade de facilitar a estimativa de perda de carga para qualquer caudal escoado, deduziram-se as expressões de perda de carga generalizadas para cada troço, expressas em relação ao quadrado do caudal:

$$\Delta H = K_{eq} \times Q^2$$

em que:

$\Delta H$  - perda de carga (mCA);

$K_{eq}$  - coeficiente equivalente de perda de carga ( $s^2/m^5$ );

Os coeficientes  $K_{eq}$ , sob a forma  $\Delta H/Q^2$ , são apresentados nos quadros seguintes:

**Quadro 2.5 – Adutor T1. Expressões de perda de carga generalizadas no Cenário 1**

Elemento	Troço		Q (m³/s)	Perda de carga total (m)	Expressão de Perdas de Carga
Tomada de água	N00	N00.1	4.000	0.231	$\Delta H = 0,0145 \times Q^2$
	N00.1	N01	4.000	0.001	$\Delta H = 0,0000 \times Q^2$
Adutor T1	N01	N02	4.000	0.537	$\Delta H = 0,0335 \times Q^2$
	N02	N03	3.919	0.253	$\Delta H = 0,0165 \times Q^2$
	N03	N04	3.847	0.228	$\Delta H = 0,0154 \times Q^2$
	N04	N05	3.714	0.794	$\Delta H = 0,0576 \times Q^2$
	N05	N06	3.515	0.489	$\Delta H = 0,0396 \times Q^2$
	N06	N06.13	3.396	1.240	$\Delta H = 0,1075 \times Q^2$
	N06.13	N07	3.396	0.203	$\Delta H = 0,0176 \times Q^2$
N07	N08	3.007	1.151	$\Delta H = 0,1273 \times Q^2$	
<b>Total</b>					<b><math>\Delta H = 0,429 \times Q^2</math></b>

**Quadro 2.6 - Adutor T1. Expressões de perda de carga generalizadas no Cenário 2**

Elemento	Nó	pK	Q (m³/s)	Perda de carga total (m)	Expressão de Perdas de Carga
Tomada de água	N00	N00.1	4,00	0,231	$\Delta H = 0,0145 \times Q^2$
	N00.1	N01	4,00	0,001	$\Delta H = 0,0000 \times Q^2$
Adutor T1	N01	N02	4,00	0,537	$\Delta H = 0,0335 \times Q^2$
	N02	N03	4,00	0,263	$\Delta H = 0,0164 \times Q^2$
	N03	N04	4,00	0,246	$\Delta H = 0,0154 \times Q^2$
	N04	N05	4,00	0,915	$\Delta H = 0,0572 \times Q^2$
	N05	N06	4,00	0,627	$\Delta H = 0,0392 \times Q^2$
	N06	N06.13	4,00	1,700	$\Delta H = 0,1063 \times Q^2$
	N06.13	N07	4,00	0,280	$\Delta H = 0,0175 \times Q^2$
N07	N08	4,00	2,019	$\Delta H = 0,1262 \times Q^2$	
<b>Total</b>					<b><math>\Delta H = 0,426 \times Q^2</math></b>

### 3. DIMENSIONAMENTO DO ADUTOR T1

#### 3.1. Situações de funcionamento analisadas

Para a determinação das envolventes de piezométricas máxima e mínima ao longo do Adutor T1 foram admitidas as seguintes situações de funcionamento:

- Cenário 1: admitindo consumos de percurso ao longo do adutor;
- Cenário 2: sem consumos de percurso ao longo do adutor.

As condições de fronteira do Adutor T1 são as seguintes:

- A montante,
  - Situação A – Sem controlo de nível no Sifão S1 (ver Anexo 6.1):
    - Cota piezométrica máxima na derivação: 223,40
    - Cota piezométrica mínima na derivação: 222,69
  - Situação B – Com controlo de nível no Sifão S1 (ver Anexo 6.1):
    - Cota piezométrica máxima na derivação: 224,76
    - Cota piezométrica mínima na derivação: 223,59
- A jusante:
  - Nível máximo de água no reservatório, NPA = 217,0
  - Nível mínimo de água no reservatório, NmE = 213,0

#### 3.2. Dimensionamento

A partir dos caudais de dimensionamento e das condições de fronteira, efetuou-se o dimensionamento do sistema adutor primário, do qual resultaram os valores constantes dos quadros seguintes.

Nestes quadros são apresentadas as cotas piezométricas de chegada ao reservatório da Bragada (Nó N08), para as duas situações limite da cota piezométrica a montante (ver Anexo 6.1):

- S(i) - Adução de 37,0 m<sup>3</sup>/s a partir da albufeira dos Álamos

- S(ii) - Adução de 14,0 m<sup>3</sup>/s a partir da albufeira dos Álamos

Conforme é possível constatar pelos valores determinados, é apenas no Cenário 2 de qualquer uma das situações A ou B que o valor da cota piezométrica no nó N08 é inferior à cota do NPA do reservatório de Bragada. Isto significa que, nestas situações, para cotas do nível de água no reservatório superiores a essas cotas, o caudal aduzido será inferior a 4 m<sup>3</sup>/s.

**Quadro 3.1 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação A**

Elemento	Nó	pK	Q (m <sup>3</sup> /s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
					S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	-	4,000	-	223,40	222,69
	N00.1	-	4,000	0,231	223,17	222,46
Adutor T1	N01	0+000.00	4,000	0,001	223,17	222,46
	N02	1+112.05	4,000	0,537	222,63	221,92
	N03	1+665.99	3,919	0,253	222,38	221,67
	N04	2+168.10	3,847	0,228	222,15	221,44
	N05	4+097.87	3,714	0,794	221,36	220,65
	N06	5+418.82	3,515	0,489	220,87	220,16
	N06.13	7+480.00	3,396	1,240	219,63	218,92
	N07	7+773.15	3,396	0,203	219,42	218,71
N08	9+714.76	3,007	1,151	218,27	217,56	

**Quadro 3.2 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação A**

Elemento	Nó	pK	Q (m³/s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
					S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	-	4,000	-	223,40	222,69
	N00.1	-	4,000	0,231	223,17	222,46
Adutor T1	N01	0+000.00	4,000	0,001	223,17	222,46
	N02	1+112.05	4,000	0,537	222,63	221,92
	N03	1+665.99	4,000	0,263	222,37	221,66
	N04	2+168.10	4,000	0,246	222,12	221,41
	N05	4+097.87	4,000	0,915	221,21	220,50
	N06	5+418.82	4,000	0,627	220,58	219,87
	N06.13	7+480.00	4,000	1,700	218,88	218,17
	N07	7+773.15	4,000	0,280	218,60	217,89
N08	9+714.76	4,000	2,021	216,58	<b>215,87</b>	

**Quadro 3.3 – Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 1 + Situação B**

Elemento	Nó	pK	Q (m³/s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
					S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	-	4,000	-	223,59	224,76
	N00.1	-	4,000	0,231	223,36	224,53
Adutor T1	N01	0+000.00	4,000	0,001	223,36	224,53
	N02	1+112.05	4,000	0,537	222,82	223,99
	N03	1+665.99	3,919	0,253	222,57	223,74
	N04	2+168.10	3,847	0,228	222,34	223,51
	N05	4+097.87	3,714	0,794	221,55	222,72
	N06	5+418.82	3,515	0,489	221,06	222,23
	N06.13	7+480.00	3,396	1,240	219,82	220,99
	N07	7+773.15	3,396	0,203	219,61	220,78
N08	9+714.76	3,007	1,151	218,46	<b>219,63</b>	

**Quadro 3.4 - Dimensionamento do Adutor T1, Cenário 2 + Situação B**

Elemento	Nó	pK	Q (m <sup>3</sup> /s)	Perda de carga total (m)	Cota Piezométrica no Nó	
					S(i)	S(ii)
Tomada de água	N00	-	4,000	-	223,59	224,76
	N00.1	-	4,000	0,231	223,36	224,53
Adutor T1	N01	0+000.00	4,000	0,001	223,36	224,53
	N02	1+112.05	4,000	0,537	222,82	223,99
	N03	1+665.99	4,000	0,263	222,56	223,73
	N04	2+168.10	4,000	0,246	222,31	223,48
	N05	4+097.87	4,000	0,915	221,40	222,57
	N06	5+418.82	4,000	0,627	220,77	221,94
	N06.13	7+480.00	4,000	1,700	219,07	220,24
	N07	7+773.15	4,000	0,280	218,79	219,96
N08	9+714.76	4,000	2,021	216,77	217,94	

## 4. DIMENSIONAMENTO DO ORGÃO DE REGULAÇÃO DE CAUDAL

### 4.1. Regulação a realizar

A regulação de caudal a realizar na tomada de água para o Adutor T1 deverá assegurar a adução de um caudal constante de 4,0 m<sup>3</sup>/s. As condições extremas a considerar para o seu dimensionamento são as seguintes:

- Perda de carga mínima a criar, terá por base o *Cenário 2 + Situação A*
  - Cota piezométrica mínima na derivação para Reguengos (222,69);
  - Cota do nível de água no reservatório da Bragada próxima do Nível de Pleno Armazenamento<sup>1</sup>;
  - Derivações para as redes secundárias de rega fora de serviço.
- Perda de carga máxima a criar, terá por base o *Cenário 1 + Situação B*
  - Cota piezométrica máxima na derivação para Reguengos (224,76);
  - Cota do nível de água no reservatório da Bragada igual ao Nível Mínimo de Exploração (213,0);
  - Derivações para as redes secundárias de rega em serviço.

O cálculo das perdas de carga ao longo do Adutor T1, para cada um desses cenários, foi apresentado no Capítulo 2, Quadros 2.3 e 2.4, sendo as respetivas expressões de perda de carga apresentadas na Secção 2.4.

Para regulação do caudal a aduzir ao reservatório da Bragada, considerou-se a instalação de uma válvula de borboleta de construção concêntrica DN1800.

No *Cenário 2+Situação A* o circuito só consegue garantir a adução de 4,0 m<sup>3</sup>/s ao reservatório da Bragada quando a cota do nível de água neste for inferior a 215,87 m, ou seja, inferior à cota do Nível de Pleno Armazenamento. Conclui-se assim, que, no caso de não haver consumo nas redes de rega secundárias, só se poderá garantir a adução do caudal de 4,0 m<sup>3</sup>/s ao reservatório da Bragada quando a diferença de cotas entre a piezométrica no Sifão e o nível de água no reservatório for superior a 6,82 m (ver Quadro 2.4). Para cotas do nível de água superiores, o caudal aduzido será menor, nestes casos a válvula de regulação estará totalmente aberta e deverá, pois, introduzir uma perda de carga mínima a plena abertura.

---

<sup>1</sup> Conforme se concluiu na secção 3.2, não será possível aduzir o caudal de 4 m<sup>3</sup>/s quando a cota do nível de água no reservatório de Bragada for superior a 215,87.

A perda de carga máxima a introduzir pela válvula de regulação de caudal corresponde à situação descrita para o *Cenário 1 + Situação B* e deverá ser de  $219,63 - 213,0 = 6,63$  m.c.a. (ver Quadro 3.3)).

#### 4.2. Dimensionamento do órgão de regulação

Para a utilização de uma válvula de borboleta como reguladora de caudal, é necessário garantir:

- Que os graus de abertura da válvula em modo regulação estejam compreendidos entre  $20^\circ$  e  $70^\circ$  para os regimes de funcionamento pretendidos;
- A ausência de cavitação.

A definição dos ângulos de abertura da válvula de borboleta para os regimes de funcionamento pretendidos baseou-se em documentação técnica de fabricantes, concretamente nas tabelas dos coeficientes de caudal  $K_v$ .

O coeficiente de caudal,  $K_v$ , corresponde ao valor de caudal que origina uma perda de carga de 1 bar através da válvula para determinada abertura.

No Quadro seguinte, apresenta-se os valores do coeficiente  $K_v$  considerados no cálculo.

**Quadro 4.1 - Coeficientes de caudal  $K_v$  para válvulas de Borboleta tipo Eurostop**

Angulo de abertura (graus)	$K_v$ ( $m^3/h$ )
90	279 819
60	99 000
50	55 500
40	31 200
30	17 500
20	9 500
15	6 600
10	4 100

A cavitação numa válvula de borboleta ocorre quando a perda de carga provocada por esta ultrapassa determinado valor  $\Delta P_c$ .

Esse valor  $\Delta P_c$  varia em função do angulo de abertura da válvula e pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\Delta P_c = K_{c\alpha} \times (P_1 - P_v)$$

em que,

$\Delta P_c$  – perda de carga crítica na válvula (m)

$K_{c\alpha}$  – Coeficiente de cavitação para o ângulo de abertura  $\alpha$

$P_1$  – Pressão a montante da válvula (bar) (pressão absoluta)

$P_v$  – Pressão de vapor da água (bar) (pressão absoluta) que, para água a uma temperatura de 20°C, tem o valor de 0,024 bar

**Quadro 4.2 – Valores do coeficiente de cavitação**

Ângulo de abertura, $\alpha$ (graus)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Kc	0,4	0,4	0,5	0,5	0,55	0,35	0,25	0,25	0,25

Assim, para as situações limites acima identificadas, tem-se:

**Quadro 4.3 – Determinação do ângulo de abertura da válvula e perda de carga provocada**

Cenário	Cotas no R1		Caudal a regular		Coeficiente Kv	Ângulo de abertura (graus)	$\Delta h$ na válvula (bar)
	Nível de água	Piezométrica à entrada (*)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /h)			
<b>Cenário 2 + Situação A</b>	215,79	215,87	4000	14400	159 273	70,0 (**)	0,008
<b>Cenário 1 + Situação B</b>	213,00	219,63	4000	14400	17 681	30.13	0,663

(\*) Valores apresentados nos quadros 3.2 e 3.3

(\*\*) Valor máximo admitido, a partir do qual a abertura deverá ser total (90°)

**Quadro 4.4 – Verificação da Cavitação**

Cenário	Cota (-)		Pressão a montante da válvula (bar)		Pv (bar)	Kca	ΔPc (bar)
	Piezométrica montante	Eixo da válvula	Relativa	Absoluta			
<b>Cenário 2 + Situação A</b>	222,69	206,16	1,653	2,686	0,0239	0,250	0,407
<b>Cenário 1 + Situação B</b>	224,76	206,16	1,860	2,893	0,0239	0,500	0,918

Confirma-se, assim, que para a situação de maior perda de carga a introduzir, correspondente ao *Cenário 1 + Situação B*, a válvula de diâmetro DN1800 mm permite a regulação do caudal de 4,0 m<sup>3</sup>/s, com um ângulo de abertura superior a 20°, sem ocorrência de cavitação.

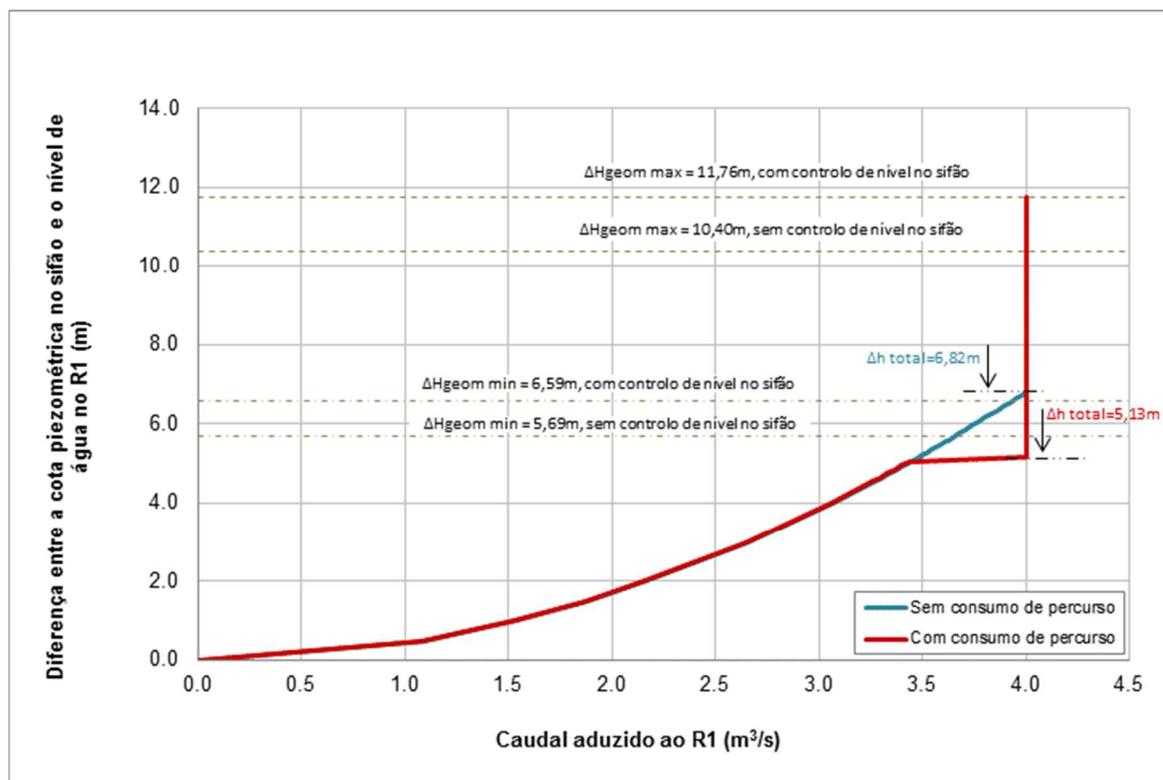
No que respeita à situação de menor perda de carga a introduzir pela válvula, correspondente ao *Cenário 2 + Situação A*, dado que o máximo grau de abertura da válvula para regulação é de 70°, só será possível a regulação de caudal para níveis de água no reservatório de Bragada inferiores à cota 215,79, não havendo igualmente a ocorrência de cavitação.

O grau de abertura será definido com auxílio de um medidor de caudal a partir do qual, em função das leituras efectuadas, será dada a ordem de abertura ou fecho da válvula dentro dos limites de funcionamento anteriormente definidos.

#### **4.3. Verificação das condições de funcionamento do órgão de regulação**

Conforme já referido, o grau de abertura da válvula de borboleta é função da cota piezométrica no Sifão S1, do nível de água armazenado no reservatório da Bragada e do estado (em serviço ou fora de serviço) das derivações existentes ao longo da conduta adutora.

Deste modo, na figura seguinte apresentam-se os caudais aduzidos ao reservatório da Bragada em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, para os cenários extremos da sua exploração, considerando os caudais de ponta a servir pelo sistema e tendo em conta o modo de funcionamento preconizado para a válvula de borboleta.

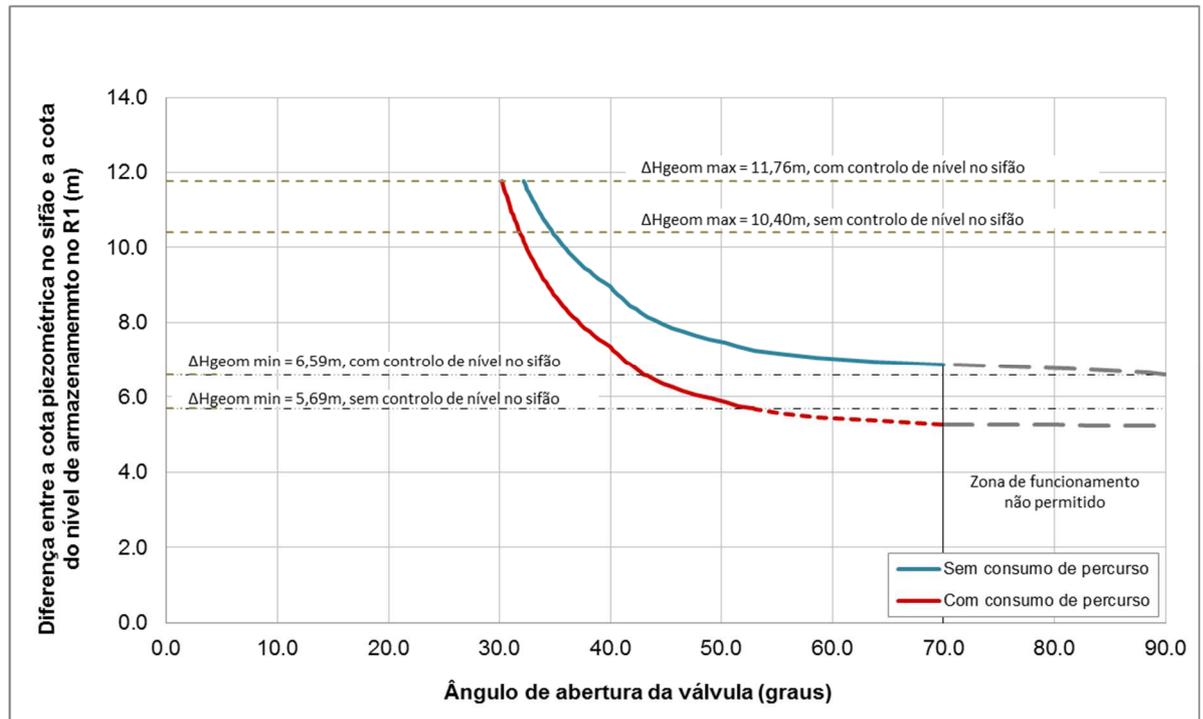


**Figura 4.1 - Caudais aduzidos pelo adutor T1 em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, para os cenários extremos da sua exploração**

Observa-se assim o seguinte:

- Na situação em que da rede secundária está em serviço, será possível alimentar o sistema com o caudal de dimensionamento 4,0 m³/s, mesmo quando a diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada for a mínima, 5,69 m;
- Na situação em que não existem consumos da rede secundária, só será possível alimentar o reservatório de Bragada (para qualquer condição de exploração do Sistema) com o caudal de dimensionamento 4 m³/s, quando a diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada for superior a 6,82 m. Para diferenças entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada inferiores ao valor acima indicado, o caudal aduzido ao sistema variará entre 3,62 e 4,0 m³/s, em função das condições de exploração do mesmo.

Na figura seguinte, apresentam-se os ângulos de abertura da válvula de borboleta DN1800 mm a regular em função dos valores da cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada, tendo em conta o modo de funcionamento preconizado para a válvula.



**Figura 4.2 – Ângulo de abertura da válvula de borboleta em função da diferença entre a cota piezométrica no Sifão e a cota do nível de água no reservatório da Bragada**

Da análise da Figura 4.2 possível concluir-se o seguinte:

- Na situação em que a rede secundária está em serviço, o ângulo de abertura da válvula irá variar entre o mínimo de 30,13° e o máximo de 52,8°.
- Na situação em que da rede secundária está fora de serviço, o ângulo de abertura da válvula irá variar entre o mínimo de 32,2° e o máximo de 70°, após este valor a válvula abrirá totalmente escoando o caudal que as condições do sistema permitirem.

