

**COMUNIDADE INTERMUNICIPAL DO ALTO ALENTEJO**

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO  
INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS E ENERGÉTICOS DO  
APROVEITAMENTO HIDRÁULICO DE FINS MÚLTIPLOS DO  
CRATO**



**COMPONENTE B) ESTUDO DAS INFRAESTRUTURAS DE  
REGULARIZAÇÃO DE CAUDAIS. INFRAESTRUTURAS PRIMÁRIAS  
ESTUDO FINAL**

**VOLUME 1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA  
TOMO 1 – MEMÓRIA GERAL**







**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS E ENERGÉTICOS DO APROVEITAMENTO HIDRÁULICO DE FINS MÚLTIPLOS DO CRATO**

**COMPONENTE B) ESTUDO DAS INFRAESTRUTURAS DE REGULARIZAÇÃO DE CAUDAIS  
INFRAESTRUTURAS PRIMÁRIAS**

**ESTUDO FINAL**

**VOLUME 1 - MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

**TOMO 1 – MEMÓRIA GERAL**

**EQUIPA TÉCNICA**

Diretor de Consórcio Eng.º António Capelo

Adjunto Eng.º Mário Samora

---

Hidráulica/Hidrologia Eng.º Mário Samora  
Eng.º Rui Apolinário  
Eng.º João Afonso  
Eng.ª Ana Teresa Dias  
Eng.ª Raquel Lourenço  
Eng.º André Batoréu  
Eng.º Anouar Kaouachi

---

Geologia/Geotecnia Eng.º Gonçalo Tavares  
Eng.º Nelson Rodrigues  
Eng.ª Sandra Oliveira  
Eng.º Henrique Lopes  
Eng.º João Lourenço  
Eng.º Carlos Mata  
Dr.ª Marta Garcia

---

---

Estruturas

Eng.<sup>o</sup> Fortes Monteiro

Eng.<sup>o</sup> Miguel Boim

Eng.<sup>a</sup> Laura Seco

Eng.<sup>a</sup> Maria Magalhães

Eng.<sup>o</sup> Pedro Mateus

---

Acessos

Eng.<sup>o</sup> Edgar Cuco

---

Equipamentos e Instalações Elétricas

Eng.<sup>o</sup> António Correia

Eng.<sup>o</sup> Helder Reis

Eng.<sup>o</sup> Luís Martins

Eng.<sup>o</sup> Carlos Soares

---

Ambiente

Eng.<sup>a</sup> Teresa Bártolo

---

Desenho

Pedro Alves

Helder Santos

Carlos Fernandes

João Martins

Beatriz Capinha

Ana Linhares

---

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS E ENERGÉTICOS DO APROVEITAMENTO HIDRÁULICO DE FINS MÚLTIPLOS DO CRATO**

**COMPONENTE B) ESTUDO DAS INFRAESTRUTURAS DE REGULARIZAÇÃO DE CAUDAIS INFRAESTRUTURAS PRIMÁRIAS**

**ESTUDO FINAL**

**VOLUME 1 - MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

**TOMO 1 – MEMÓRIA GERAL**

**ÍNDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO GERAL DAS OBRAS.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>FICHA SINÓPTICA DAS OBRAS .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>HIDROLOGIA DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DO PISÃO .....</b>	<b>12</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	12
4.2	PRECIPITAÇÕES E AFLUÊNCIAS DISPONÍVEIS.....	12
4.3	CAUDAL SÓLIDO.....	15
4.4	CAUDAIS DE CHEIA .....	16
<b>5</b>	<b>CONSUMOS A EXTRAIR DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DO PISÃO .....</b>	<b>18</b>
5.1	ABASTECIMENTO PARA REGA.....	18
5.2	ABASTECIMENTO URBANO .....	18
5.3	EVAPORAÇÃO.....	19
5.4	CAUDAIS ECOLÓGICOS .....	20
<b>6</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DO PISÃO .....</b>	<b>23</b>
6.1	CURVAS DE ÁREAS INUNDADAS E DE VOLUMES ARMAZENADOS .....	23
6.2	NÍVEIS E VOLUMES CARACTERÍSTICOS.....	25
<b>7</b>	<b>GEOLOGIA E GEOTECNIA .....</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>DESCRIÇÃO DETALHADA DAS OBRAS .....</b>	<b>29</b>
8.1	BARRAGEM .....	29
8.1.1	Descrição da Solução .....	29
8.1.2	Geometria das Escavações .....	34
8.1.3	Materiais de Construção da Barragem.....	46
8.1.4	Saneamento e Tratamento da Fundação do Aterro .....	64
8.1.5	Cortina de Estanqueidade .....	65
8.1.6	Ligação da Barragem com as Estruturas de Betão .....	74

---

---

8.1.7	Acesso às Banquetas .....	75
8.2	ORGÃOS HIDRÁULICOS ANEXOS DA BARRAGEM .....	76
8.2.1	Descarregador de Cheias .....	76
8.2.2	Descarga de Fundo .....	78
8.2.3	Tomada de Água .....	79
8.3	DESVIO PROVISÓRIO DO RIO .....	82
8.3.1	Constituição geral .....	82
8.3.2	Pré-ensecadeira de montante.....	83
8.3.3	Ensecadeira de montante .....	84
8.3.4	Galeria de desvio .....	84
8.3.5	Ensecadeira de jusante.....	86
8.4	CENTRAL HIDROELÉTRICA .....	86
8.4.1	Descrição geral.....	86
8.4.2	Equipamentos.....	87
8.4.3	Instalações elétricas principais.....	87
8.4.4	Funcionamento e condução.....	88
8.5	ACESSOS .....	88
<b>9</b>	<b>CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS OBRAS E CONDICIONAMENTOS A RESPEITAR .....</b>	<b>91</b>
9.1	FASEAMENTO GERAL .....	91
9.2	FASE INICIAL, ANTERIOR AO DESVIO DO RIO.....	92
9.3	FASE INTERMÉDIA, DE DESVIO DO RIO.....	92
9.4	FASE FINAL, POSTERIOR AO FECHAMENTO DO DESVIO PROVISÓRIO DO RIO .....	93
9.5	CONDICIONAMENTOS ESPECIAIS .....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1	– Principais características da bacia hidrográfica da barragem do Pisão .....	12
Tabela 4-2	– Afluências mensais e anuais, em hm <sup>3</sup> , na secção da futura barragem do Pisão no período de 1990/91 a 2019/20 .....	13
Tabela 4-3	– Curva de duração média anual de caudais médios diários na secção da futura barragem do Pisão.....	14
Tabela 4-4	– Estimativa de afluências de sedimentos à albufeira da barragem do Pisão.....	16
Tabela 5-1	– Consumos considerados.....	18
Tabela 5-2	– Necessidades de água para abastecimento público a partir da barragem do Pisão.....	19
Tabela 5-3	– Valores de evaporação mensal e anual registados em Montargil.....	19
Tabela 5-4	– Regime de caudais ecológicos proposto a jusante da barragem do Pisão .....	20

---

Tabela 5-5 – Regime de caudais ecológicos proposto a jusante da barragem do Pisão (método do INAG).....	20
Tabela 6-1 – Cotas, volumes armazenados e áreas inundadas para albufeira do Pisão.....	23
Tabela 6-2 – Características da albufeira do Pisão.....	25
Tabela 8-1 – Assentamentos máximos expectáveis .....	33
Tabela 8-2 – Sobrelevações adotadas para cada troço de barragem .....	33
Tabela 8-3 – Mecanismos de rotura nos taludes de escavação em rocha .....	42
Tabela 8-4 – Verificação dos critérios de filtro para o material F2.....	53
Tabela 8-5 – Verificação dos critérios de filtro para o material F3.....	54
Tabela 8-6 – Verificação dos critérios de filtro para o material D1 relativamente ao solo de base F3.....	55
Tabela 8-7 – Verificação dos critérios de filtro para o material D1 relativamente ao solo de base F2.....	55
Tabela 8-8 – Verificação da capacidade de vazão do tapete drenante .....	58
Tabela 8-9 - Composições e características médias de referência das caldas de injeção a estudar .....	74
Tabela 8-10 – Caudais máximos extraídos mensalmente da tomada de água da barragem do Pisão.....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Curva de duração média anual de caudais médios diários na secção da futura barragem do Pisão .....	14
Figura 4.2 – Hidrogramas de cheia afluentes à albufeira da barragem do Pisão.....	17
Figura 5.1 – Volumes ecológicos mensais em ano médio/húmido. Barragem do Pisão .....	21
Figura 5.2 – Volumes ecológicos mensais em ano seco. Barragem do Pisão.....	22
Figura 6.1 – Curvas de volumes armazenados da albufeira do Pisão.....	24
Figura 6.2 – Curvas de áreas inundadas da albufeira do Pisão .....	25
Figura 6.3 – Variação do nível da albufeira do Pisão para o Cenário 2 sem Alterações Climáticas.....	26
Figura 6.4 – Variação do nível da albufeira do Pisão para o Cenário 2 com Alterações Climáticas.....	26
Figura 8.1- Análise de estabilidade para a situação sem nível freático (talude seco) – AC1-C1 (esquerda) e AC2-C2 (direita) .....	37
Figura 8.2- Análise de estabilidade para a situação de nível freático intermédio – AC1-C1 (esquerda) e AC2-C2 (direita).....	37

---

Figura 8.3 - Análise de estabilidade para a situação com talude imerso – AC1-C1 (esquerda) e AC2-C2 (direita).....	38
Figura 8.4- Análise de estabilidade para a situação pseudo-estática.....	38
Figura 8.5 – Análise cinemática – taludes canal de entrada do descarregador cheias (esquerdo e direito) – Roturas planares.....	39
Figura 8.6– Análise cinemática – taludes canal de entrada do descarregador cheias (esquerdo e direito) – Roturas por cunha.....	39
Figura 8.7 – Análise cinemática – taludes descarga de fundo (esquerdo e direito) – Roturas planares.....	40
Figura 8.8 – Análise cinemática – taludes descarga de fundo (esquerdo e direito) – Roturas por cunha.....	40
Figura 8.9 – Análise cinemática – taludes acesso direito (esquerdo e direito) – Roturas planares.....	40
Figura 8.10 – Análise cinemática – taludes acesso direito (esquerdo e direito) – Roturas por cunha.....	41
Figura 8.11 – Análise cinemática – taludes acesso esquerdo (esquerdo e direito) – Roturas planares.....	41
Figura 8.12 – Análise cinemática – taludes acesso esquerdo (esquerdo e direito) – Roturas por cunha.....	41
Figura 8.13 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude direito do canal de entrada do descarregador de cheias.....	43
Figura 8.14 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude esquerdo da descarga de fundo.....	43
Figura 8.15 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude direito do caminho de acesso do lado esquerdo da barragem.....	44
Figura 8.16 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude direito do caminho de acesso do lado direito da barragem.....	44
Figura 8.17 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura planar – Talude esquerdo da descarga de fundo.....	45
Figura 8.18 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura planar – Talude direito do caminho de acesso do lado direito da barragem.....	45
Figura 8.19 – Fusos granulométricos dos materiais a utilizar na construção da barragem...	64
Figura 8.20 – Planos de descontinuidade e vetor representativo dos furos de injeção com respetiva “zona de sombra” (PK 0+000 ao PK 1+224).....	67
Figura 8.21 – Planos de descontinuidade e vetor representativo dos furos de injeção com respetiva “zona de sombra” (PK 1+224 ao PK 1+238).....	68
Figura 8.22 – Planos de descontinuidade e vetor representativo dos furos de injeção com respetiva “zona de sombra” (PK 1+238 ao PK 1+413).....	68

---

## ANEXOS

Anexo 1 – Cronograma de Trabalhos



## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito do Concurso Público Internacional 33SCICC2020, a **AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda.** e a **TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A.**, têm a honra de submeter à apreciação da Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo o **Tomo 1 – Memória Descritiva e Justificativa**, referentes aos Estudos de Base da *Avaliação da Sustentabilidade e Desenvolvimento Integrado dos Recursos Hídricos e Energéticos do Aproveitamento Hidráulico de Fins Múltiplos do Crato*.

De acordo com o Caderno de Encargos os estudos e projetos foram divididos nas seguintes quatro componentes:

- Componente A) - Estudos socioeconómicos;
- Componente B) - Estudos das infraestruturas de regularização de caudais;
- Componente C) - Estudo do Aproveitamento Fotovoltaico;
- Componente D) - Estudo de Impacte Ambiental.

Seguindo o definido no Caderno de Encargos, para as 4 componentes, os estudos serão desenvolvidos em duas Fases:

- 1ª Fase – Versão Preliminar dos Estudos e Projetos;
- 2ª Fase – Versão Definitiva dos Estudos e Projetos.

O presente documento, pertencente à 2ª Fase – Versão Definitiva da Componente B) Estudos das infraestruturas de regularização de caudais, e refere-se ao **TOMO 1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA do VOLUME 1 – MEMÓRIA DESCRITIVA** – onde se apresenta a descrição geral das principais obras pertencentes ao estudo.

Nos restantes Tomos do Volume 1 apresentar-se-ão os estudos mais específicos para cada especialidade.

O Volume 1 encontra-se estruturado da seguinte forma:

### **Tomo 1 – Memória Geral**

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos e de Gestão de Albufeiras

Tomo 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos

Tomo 4 – Dimensionamento Hidráulico. Barragem e Central Hidroelétrica

Tomo 5 – Dimensionamento da Barragem

Tomo 6 – Dimensionamento Estrutural. Órgãos Hidráulicos Anexos da Barragem e Central Hidroelétrica

Tomo 7 – Equipamentos, Instalações Elétricas, Iluminação e Automação

---

## Tomo 8 – Acessos e Restabelecimentos

A Barragem do Pisão localizar-se-á na ribeira de Seda, cerca de 200 m a montante da antiga Estação Hidrométrica de Couto de Andreiros e cerca de 2,5 km a montante da ponte sobre o IC13, numa secção em que a bacia hidrográfica dominada é de 245 km<sup>2</sup> – Desenho 001 do Tomo 2.

Tratar-se-á de uma barragem de aterro zonado com um desenvolvimento do coroamento com 1382 m.

A sua altura máxima acima da fundação será de 54 m e a albufeira criada terá 726 ha de área inundada e 116,2 hm<sup>3</sup> de volume de armazenamento total à cota do NPA (248,00).

A finalidade desta barragem será:

- Assegurar o fornecimento de água para rega dos blocos do Crato, Alter do Chão, Fronteira.
- Reforçar o abastecimento urbano ao Sistema de Póvoa e Meadas, especialmente durante a época de estio.
- Produção de energia elétrica.
- Laminagem dos caudais de ponta de cheia.

O presente Estudo Final engloba as seguintes obras – Desenho 1003:

- Barragem propriamente dita, com todos os seus órgãos hidráulicos de segurança e de exploração incorporados.
- Desvio provisório do rio, destinado a permitir a construção da barragem.
- Central Hidroelétrica de pé de barragem.

Não está incluído no presente Estudo o projeto da Estação Elevatória de rega a construir no pé da barragem para alimentação dos blocos do Crato, Alter do Chão e Fronteira e da Estação Elevatória para reforço do abastecimento urbano ao Sistema de Póvoa e Meadas.

Rede de acessos compreendendo:

- Estrada de acesso ao coroamento da barragem, a construir na margem direita da albufeira, a partir da estrada nacional N119 que liga Portalegre ao Crato.
- Estrada de ligação entre o coroamento da barragem e o seu pé, a construir na margem esquerda, para acesso ao Posto de Observação e Comando (POC).
- Restabelecimento de acessos a terrenos que ficarão submersos pela nova albufeira.

No Capítulo 2, apresenta-se uma descrição geral do conjunto destas obras, sendo apresentadas no Capítulo 8 descrições específicas mais detalhadas para cada uma delas.

## 2 DESCRIÇÃO GERAL DAS OBRAS

Como se referiu no Capítulo 1, as obras objeto do presente projeto compreendem:

- Barragem propriamente dita, com todos os seus órgãos hidráulicos de segurança e de exploração incorporados.
- Desvio provisório do rio, destinado a permitir a construção da barragem.
- Central Hidroelétrica de pé de barragem.
- Acessos.

Seguidamente, apresenta-se uma descrição de carácter genérico das referidas obras:

### BARRAGEM E ALBUFEIRA:

A barragem do Pisão é uma barragem em aterro zonado com núcleo central em solos de baixa permeabilidade e maciços estabilizadores em mistura de solo-enrocamento. Tem um desenvolvimento total de cerca de 1 350 m e uma altura máxima de cerca de 54 m, com um volume total de aterro de cerca de  $2,54 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

O coroamento do aterro apresenta uma largura de 10 m, com o paramento de montante com uma inclinação de 1V:2,5H, sem banquetas, e o paramento de jusante com uma inclinação de 1V:2,0H, apresentando 3 banquetas com desníveis entre si de cerca de 15 m (Desenhos 21031-EF-BAR-DES-2103-1-0 e 21031-EF-BAR-DES-2104-1-0)

A albufeira criada pela barragem, com NPA à cota 248,00, terá uma área inundada de 726 ha e um armazenamento total de  $116,2 \text{ hm}^3$ .

O nível de máxima cheia (NMC) situar-se-á à cota 250,45 e o coroamento da barragem situar-se-á 1,55 m acima, à cota 252,00.

Ao longo de todo este coroamento, com cerca de 1382 m de comprimento, será instalado um tabuleiro rodoviário com 10,0 m de largura e com rasante horizontal à cota 252,00 (Desenho 21031-EF-BAR-DES-2104-1-0).

### DESVIO PROVISÓRIO DO RIO:

O desvio provisório do rio, necessário para permitir a execução do aterro da barragem, encontra-se representado nos desenhos da série 2210 e será constituído pelos seguintes elementos:

- Uma pré ensecadeira de montante, em aterro de solos.
- Uma ensecadeira de montante, em aterro de solos.
- Uma galeria de desvio, em betão armado.
- Uma ensecadeira de jusante, em aterro de solos.

---

A pré ensecadeira, com coroamento à cota 208,00 (aproximadamente 7,9 m de altura) será constituída por materiais do tipo solo-enrocamento.

A ensecadeira de montante, com coroamento à cota 216,80 (aproximadamente 16,70 m de altura), será constituída por aterro com núcleo argiloso obtido em manchas de empréstimo dentro da albufeira, a ser integrado no corpo da barragem, ficando os seus taludes de montante e de jusante inclinados a 1,0V:2,5H e 1,0V:2,0H, respetivamente.

A galeria de desvio em betão armado será implantada na margem direita, terá secção corrente em forma de ferradura, com 5,75 m de pé direito por 5,75 m de largura máxima e terá 229,6 m de extensão total, entre as cotas de soleira 202,90 e 201,90.

A ensecadeira de jusante, com coroamento à cota 203,00 e aproximadamente 3,0 m de altura máxima, será constituída por materiais do tipo solo-enrocamento, ficando os seus taludes de montante e de jusante inclinados a 1,0V:2H.

#### ÓRGÃOS HIDRÁULICOS ANEXOS DA BARRAGEM:

##### A) DESCARREGADOR DE CHEIAS

A solução para a descarga de emergência preconizada para a Barragem do Pisão encontra-se representada na planta geral e plantas e cortes de pormenor (ver Desenhos da Série 2220 do Volume 3).

A secção assimétrica do vale de inserção da barragem, com a margem direita bastante mais suave do que a esquerda, condicionou a implantação do descarregador de cheias ao encontro esquerdo da barragem, onde aflora o maciço gnaissico que permite boas condições de fundação.

Adotou-se um descarregador de cheias em canal a céu aberto, de betão armado, que apresenta como principais benefícios a facilidade de construção e, sobretudo, a facilidade de inspeção, atividade reconhecidamente das mais importantes para a deteção de deteriorações e/ou comportamentos anómalos das estruturas.

No que se refere à implantação do canal procurou-se garantir boas condições de entrada e de restituição e reduzir o desenvolvimento do canal, intercetando as curvas de nível de forma tão perpendicular quanto possível, de forma a minimizar os volumes de escavação e betão necessários.

Relativamente à soleira descarregadora, optou-se por uma solução em labirinto com dois módulos.

É a seguinte a constituição das principais obras que compõem o descarregador de cheias:

- Soleira descarregadora livre com perfil em labirinto de betão armado, com crista à cota 248,00 (NPA da albufeira) e um comprimento nominal próximo de 96 m.
- Troço de canal de descarga retangular convergente, com largura variável de 22,50 m a 12,00 m e com 42,00 m de extensão.
- Troço de canal de descarga retangular, com largura constante de 12,00 m e extensão de 88,00 m.
- Troço de canal de descarga retangular divergente, com largura variável de 12,00 m a 20,00 m e com 37,00 m de extensão.
- Bacia de dissipação de energia por ressalto hidráulico, do tipo II do BUREC, em betão armado, com 20,00 m de largura e 45,00 m de comprimento.
- Canal de restituição em secção trapezoidal, escavado no terreno natural, com 26,00 m de largura de base e cerca de 200 m de extensão, fundo revestido com enrocamento, com declive longitudinal ascendente de 1,38% e margens estabilizadas com muros de gabiões, onde conflui no canal proveniente da descarga de fundo e linha de água a jusante.

#### B) DESCARGA DE FUNDO

A descarga de fundo da barragem será realizada tirando partido da galeria de desvio provisório do rio, que, no final da obra, será transformada numa galeria visitável, dentro da qual serão instaladas duas condutas DN1800 de PRFV, uma para a descarga de fundo e outra para a tomada de água – ver desenhos das séries 2230, 2240, 2250 e 2260.

A entrada da descarga de fundo ficará instalada na base de uma torre de tomada de água a construir na albufeira, no topo da qual será instalado o comando de uma comporta vagão de guarda com 1,8x2,1 m<sup>2</sup> de área útil.

A saída a jusante será equipada com uma comporta de segmento com 1,1x1,8 m<sup>2</sup> de área, para regulação de caudal, capaz de descarregar 38 m<sup>3</sup>/s com abertura total e com o NPA na albufeira.

Este órgão, que lança o seu jato para o interior de uma bacia de dissipação de energia, permitirá esvaziar totalmente a albufeira em aproximadamente 46 dias.

#### C) TOMADA DE ÁGUA

A tomada de água será constituída por uma torre de tomada de água, referida no ponto anterior, com entradas a três níveis, por uma conduta DN1800 instalada sob o aterro da barragem, paralela à da descarga de fundo, no interior da galeria de desvio provisório e por ramificações a jusante (ver desenhos das séries 2230, 2240, 2250, 2270 e 2280):

- 
- a estação elevatória para o Bloco de Rega do Crato;
  - a estação elevatória para abastecimento urbano;
  - a central hidroelétrica de pé de barragem;
  - o by-pass à central hidroelétrica.

A torre de tomada de água será constituída por três orifícios de 2,10x2,75 m<sup>2</sup> cada, obturáveis mediante comportas vagão operadas a partir do topo da torre.

Estes orifícios, que serão colocados a diferentes níveis ao longo do volume útil da albufeira, permitirão que a captação de água para rega, para abastecimento urbano e, como se verá, também para caudal ecológico, se faça sempre nas melhores condições de qualidade.

O caudal máximo derivável pela tomada de água é 5,38 m<sup>3</sup>/s.

#### C.1) Ramificação a jusante da tomada de água, para a estação elevatória do bloco de rega do Crato

Ramificação DN1800, equipada com válvula de borboleta com o mesmo diâmetro, com capacidade de 5,00 m<sup>3</sup>/s.

#### C.2) Ramificação a jusante da tomada de água, para a estação elevatória para abastecimento urbano

É constituída por uma ramificação DN500 na conduta de rega DN1800, equipada com válvula de borboleta D500, com capacidade de 0,250 m<sup>3</sup>/s.

#### C.3) Ramificação a jusante da tomada de água, para a central hidroelétrica de pé de barragem

A central hidroelétrica de pé de barragem processará os caudais a lançar no leito do rio, ou seja, os caudais ecológicos e os volumes em excesso na albufeira.

#### C.4) Ramificação a jusante da tomada de água, para o by-pass à central hidroelétrica

O circuito de by-pass à central deverá poder substituí-la sempre que esta não estiver operacional ou que o caudal a lançar for inferior ao caudal mínimo de funcionamento das turbinas.

### D) CENTRAL HIDROELÉTRICA

Os grupos previstos instalar na Central serão constituídos por duas turbinas e dois geradores assíncronos acoplados por meio de multiplicadores de velocidade.

A gama de quedas de funcionamento determinou a escolha de turbinas cross-flow com duas células de regulação.

Assim, a central é equipada com duas turbinas, dimensionadas cada uma para um caudal máximo de 0,74 m<sup>3</sup>/s e uma queda estática de 48,15 m, resultando em turbinamento numa

potência de 2 x 269 kW no veio das turbinas e de 2 x 250 kW à saída dos bornes dos alternadores, considerando rendimentos de 78% para a turbina e de 97% para o multiplicador e 95,5% para o alternador.

A restituição dos caudais turbinados será feita para o interior da bacia de dissipação da descarga de fundo.

#### E) ACESSOS

No âmbito do presente estudo, foram definidos os seguintes acessos (Ver Desenhos da Série 3000):

- Acesso da Margem Direita à Barragem do Crato
- Acesso da Margem Esquerda à Barragem do Crato
- Acesso à Central.

Para além disso, foi definida a localização dos caminhos rurais a restabelecer em função da ocupação da albufeira da barragem e do açude.

O **Acesso da Margem Direita à Barragem do Crato** irá desenvolver-se sobre um caminho rural existente, estabelecendo a ligação entre a EN119 e o local do Zambujeiro, na proximidade do encontro da Barragem.

Este acesso vai iniciar-se na EN119, atravessa o IC13 através de uma Passagem Superior, num troço em que será coincidente com um restabelecimento construído no âmbito da empreitada de construção do IC13, desenvolvendo-se para sudoeste até ao coroamento da barragem.

Em termos de traçado em planta e perfil longitudinal, as características deste novo acesso apresentarão melhorias significativas em relação às condições dos caminhos existentes, preservando os acessos às propriedades existentes.

O **Acesso da margem esquerda à Barragem do Crato** vai garantir o acesso ao coroamento e à zona do posto de observação e comando.

O **Acesso à Central** faz a ligação entre o coroamento da barragem, na zona da margem direita, e a plataforma da Central, desenvolvendo-se com um andamento aproximadamente paralelo ao limite a jusante da implantação da barragem.

Neste acesso, foram previstos dois caminhos de trabalho para acesso às banquetas da barragem, para trabalhos de manutenção e limpeza.

---

### 3 FICHA SINÓPTICA DAS OBRAS

Apresenta-se, seguidamente, uma ficha resumo da barragem do Pisão e obras associadas, contendo as suas características mais importantes:

#### A) Finalidades

- rega de terrenos agrícolas, abastecimento urbano, produção de energia elétrica, laminagem de caudais de cheia.

#### B) Hidrologia

- linha de água: ribeira de Seda
- área da bacia hidrográfica dominada: 245 km<sup>2</sup>;
- precipitação em ano médio: 803 mm
- escoamento anual médio: 190 mm (46,43 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>);
- caudal modular: 1,47 m<sup>3</sup>/s;
- caudal ecológico máximo (método INAG): 1,25 m<sup>3</sup>/s (mês de fevereiro de anos médios e húmidos).
- caudal ecológico mínimo (método INAG): 0,13 m<sup>3</sup>/s (mês de julho de anos abaixo da média);
- caudal afluente da cheia de projeto do descarregador de cheias (T=5000 anos): 828 m<sup>3</sup>/s;
- caudal efluente da cheia de projeto do descarregador de cheias (T=5000 anos): 394 m<sup>3</sup>/s;
- caudal afluente da cheia de projeto do desvio provisório (T=50 anos): 369 m<sup>3</sup>/s;
- caudal efluente da cheia de projeto do desvio provisório (T=50 anos): 231 m<sup>3</sup>/s.

#### C) Albufeira

- volume morto: 6,9 hm<sup>3</sup>;
- volume útil: 109,3 hm<sup>3</sup>;
- volume total: 116,2 hm<sup>3</sup>;
- nível mínimo de exploração (NME):
  - NME rega: 221,30;
  - NME abastecimento: 219,10;
- nível de pleno armazenamento (NPA): 248,00;
- nível de máxima cheia (NMC): 250,45;
- área inundada à cota do NPA: 726 ha.

#### D) Barragem

- tipo: terra com perfil zonado;
- cota do coroamento: 252,00;
- cota do ponto mais baixo da fundação: 198,00;
- altura máxima acima da fundação: 54 m;
- desenvolvimento do coroamento: 1382 m;
- largura do coroamento: 10 m;
- volume de aterro: 2.540.000 m<sup>3</sup>.

#### E) Descarregador de Cheias

- tipo: em canal de betão a céu aberto, com soleira descarregadora do tipo labirinto a montante e bacia de dissipação de energia a jusante (Tipo II do USBR);
- cota da crista da soleira descarregadora: 248,00;
- número de módulos: 2;
- comprimento nominal da crista da soleira descarregadora: 96,00 m;
- profundidade do canal de aproximação, abaixo da crista da soleira descarregadora: 3,50 m;
- largura do canal de descarga intermédio: 12,00 m;
- profundidade do canal de descarga: 3,50 m;
- largura da bacia de dissipação de energia: 20,00 m;
- comprimento da bacia de dissipação de energia: 45,00 m.

#### F) Desvio Provisório

- constituição: Galeria em betão, com secção em forma de ferradura, com 5,75 m de pé direito e 5,75 m de largura máxima, construída em “cut-and-cover” sob o aterro da barragem + pré-ensecadeira de montante com coroamento à cota 208,00 + ensecadeira de montante de aterro de solos com coroamento à cota 216,80 + ensecadeira de jusante com coroamento à cota 203,00;
- caudal afluente da cheia de projeto do desvio provisório (T=50 anos): 369 m<sup>3</sup>/s;
- caudal efluente da cheia de projeto do desvio provisório (T=50 anos): 231 m<sup>3</sup>/s.
- nível máximo atingido na albufeira da ensecadeira de montante: 216,42.
- altura da ensecadeira de montante: 16,7 m
- altura da ensecadeira de jusante: 3,0 m

#### G) Descarga de Fundo

- constituição: torre de tomada de água, seguida de uma conduta Ø1800 no interior da galeria de desvio provisório e terminando numa comporta de segmento com 1,10 x 1,80

---

m<sup>2</sup> de área que lança o seu jato para o interior de uma bacia de dissipação de energia do tipo II do USBR;

- controlo do caudal: através de comporta de segmento, na extremidade de jusante;
- órgãos de guarda a montante: comporta plana com 1,80 x 2,10 m<sup>2</sup> de área na base da torre de tomada de água, comandada por servomotor a partir do topo da torre de tomada de água;
- cota da soleira de entrada da tomada de água: 210,20;
- cota de soleira da comporta de segmento à saída: 201,00;
- capacidade máxima: 38 m<sup>3</sup>/s com o NPA na albufeira;
- tempo de esvaziamento da albufeira: cerca de 46 dias.

## H) Tomada de Água

- constituição: Torre de tomada de água com entradas a três níveis (níveis de captação 239,00; 231,00 e 215,50) + conduta Ø1800 sob o aterro da barragem, paralela à da descarga de fundo, instalada no interior da galeria de desvio provisório + ramificações a jusante (para a estação elevatória para o Bloco de Rega do Crato, para a estação elevatória para abastecimento urbano, para a central hidroelétrica de pé de barragem e para o *by-pass* a esta);
- caudal máximo derivável: 5,38 m<sup>3</sup>/s.

H.1) Ramificação a jusante da Tomada de Água, para a estação elevatória do bloco de rega do Crato

- constituição: conduta Ø1800 terminando em Ø2000 para alimentação da estação elevatória;
- caudal máximo: 5,00 m<sup>3</sup>/s.

H.2) Ramificação a jusante da Tomada de Água, para a estação elevatória para abastecimento urbano

- constituição: picagem Ø500 na conduta de rega Ø1800;
- caudal máximo: 0,250 m<sup>3</sup>/s.

H.3) Ramificações a jusante da Tomada de Água, para a Central Hidroelétrica de Pé de Barragem

- 2 turbinas do tipo "Cross-flow"
- Caudal máximo turbinado: 2 x 0,74 m<sup>3</sup>/s
- Caudal mínimo turbinado: 0,15 m<sup>3</sup>/s
- Queda dos melhores rendimentos: 36 m
- Queda mínima: 17,46 m
- Queda máxima: 47,51 m

- Potência (veio da turbina): 2 x 269 kW
- Potência (alternador): 2 x 250 kW
- Produção média anual de energia: 0,57 GWh/ano

#### H.4) Ramificação a jusante da Tomada de Água, para o by-pass à Central Hidroelétrica

- Constituição: três circuitos paralelos, dois deles  $\varnothing 500$  e um terceiro  $\varnothing 150$ , localizados no edifício da central hidroelétrica; o caudal será regulado automaticamente por válvulas de globo  $\varnothing 500$  e  $\varnothing 150$ ; daí para jusante, os circuitos de restituição continuarão em paralelo até à sua saída no interior da bacia de dissipação de energia da descarga de fundo.
- Caudais de funcionamento: entre 0,02 m<sup>3</sup>/s e 2 x 0,74 m<sup>3</sup>/s.

---

## 4 HIDROLOGIA DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DO PISÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

Foi realizado, no âmbito do presente estudo, o estudo hidrológico da bacia hidrográfica dominada pela barragem do Pisão – Desenho 01 do Tomo 2.

Os resultados de tal estudo, que incluíram a avaliação de afluências mensais e anuais à albufeira do Pisão, assim como a determinação de caudais e volumes de cheias, para vários períodos de retorno, são apresentados em detalhe no Tomo 2 do Volume 1 (Estudos Hidrológicos e de Gestão das Albufeiras) e são sumariados nas secções seguintes.

Na tabela seguinte, apresentam-se as principais características da referida bacia hidrográfica.

**Tabela 4-1 – Principais características da bacia hidrográfica da barragem do Pisão**

<b>Características fisiográficas</b>	<b>Bacia da Barragem do Pisão</b>
Área dominada (km <sup>2</sup> )	244,55
Comprimento da linha de água principal (km)	26,65
Altitude mínima	210,00
Altitude máxima	730,00
Altitude média	341,02
Altura média (m)	131,02
Declive médio da linha de água principal (-)	0,0139
Declive entre 10 e 85% do comprimento da linha de água (m/km)	8,0

### 4.2 PRECIPITAÇÕES E AFLUÊNCIAS DISPONÍVEIS

De acordo com os estudos apresentados no Tomo 2 do Volume 1, a precipitação em ano médio ponderada sobre a bacia hidrográfica dominada pela Barragem do Pisão é de 803 mm, correspondendo-lhe um escoamento anual médio de 205 mm (afluência média anual de 50,03 hm<sup>3</sup> e caudal modular de 1,59 m<sup>3</sup>/s).

No Tomo 2 do Volume 1, é também realizada a simulação da albufeira criada pela barragem, fazendo o balanço entre as afluências e os consumos previstos ao longo de um período de referência de 30 anos, entre 1990/91 e 2019/20.

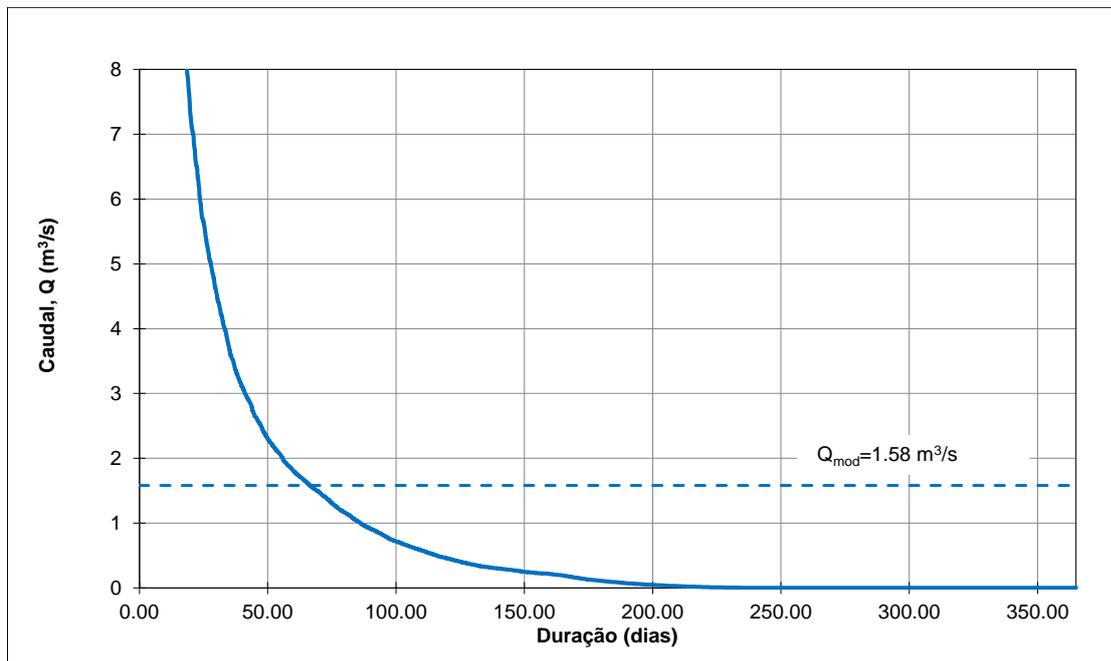
Foram determinados os escoamentos mensais e anuais que se indicam na seguinte tabela.

**Tabela 4-2 – Afluências mensais e anuais, em hm<sup>3</sup>, na secção da futura barragem do Pisão no período de 1990/91 a 2019/20**

Ano hidro-lógico	Afluência mensal e anual (hm <sup>3</sup> )												Ano
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
1990/91	0,44	3,07	1,78	4,63	9,42	21,84	3,09	0,29	0,05	0,00	0,00	0,00	44,61
1991/92	0,31	0,16	0,16	0,08	0,05	0,06	0,59	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	4,71
1992/93	0,00	0,13	0,47	0,22	0,39	0,41	0,31	1,84	0,54	0,00	0,00	0,00	4,31
1993/94	10,44	16,22	4,14	10,91	5,43	3,96	1,81	15,16	0,07	0,00	0,01	0,00	68,16
1994/95	1,99	12,16	2,75	3,56	11,55	0,22	0,19	0,13	0,07	0,05	0,00	0,33	33,00
1995/96	0,12	9,15	27,97	54,36	3,53	1,31	3,74	14,00	0,00	0,00	0,00	1,65	115,83
1996/97	1,56	5,59	16,06	5,33	0,09	0,00	0,19	2,97	0,39	0,11	0,13	0,79	33,20
1997/98	15,76	36,78	21,56	3,52	6,92	0,04	0,68	9,59	2,24	0,00	0,00	0,45	97,55
1998/99	2,11	12,74	1,25	11,03	0,07	0,57	0,28	0,63	0,01	0,00	0,11	3,80	32,61
1999/00	31,50	0,35	1,51	0,49	0,09	0,34	2,70	0,94	0,00	0,06	0,00	0,05	38,03
2000/01	2,01	21,17	23,83	8,88	7,36	21,38	0,16	0,38	0,14	0,00	0,03	2,01	87,34
2001/02	0,63	0,10	0,00	0,72	1,41	9,95	3,41	1,01	0,58	0,60	0,64	0,81	19,88
2002/03	1,00	4,71	12,36	15,78	11,12	8,25	5,54	2,10	0,19	0,00	0,00	0,02	61,08
2003/04	1,47	9,01	10,55	7,53	9,61	5,52	3,31	2,04	0,29	0,13	0,22	0,30	50,00
2004/05	2,65	3,55	2,26	1,17	0,71	0,81	0,70	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	11,93
2005/06	1,47	4,77	5,71	4,58	3,95	11,08	4,39	1,05	0,01	0,00	0,00	0,06	37,07
2006/07	13,12	35,00	11,82	4,10	8,70	4,38	2,86	2,10	1,15	0,81	0,74	1,48	86,26
2007/08	2,87	2,88	1,94	4,62	5,99	3,50	8,30	4,64	2,14	0,24	0,63	0,77	38,53
2008/09	1,10	1,74	2,54	8,12	14,91	4,39	2,69	1,58	0,54	0,00	0,04	0,10	37,74
2009/10	0,57	1,69	12,59	20,04	15,77	21,28	6,11	2,91	1,10	0,27	0,50	0,40	83,24
2010/11	6,50	3,81	3,36	16,07	12,69	0,71	11,93	8,79	0,00	0,00	0,03	3,12	67,02
2011/12	3,71	14,57	0,36	0,12	0,00	0,00	0,37	1,96	0,00	0,00	0,00	1,79	22,89
2012/13	7,10	17,37	6,94	8,02	0,69	20,34	9,79	0,13	0,09	0,00	0,00	4,51	74,97
2013/14	18,73	0,13	0,24	0,00	8,95	0,44	15,31	0,31	0,09	0,01	0,00	9,39	53,60
2014/15	14,98	6,08	0,42	2,93	0,67	0,15	4,83	0,49	0,16	0,00	0,00	0,11	30,82
2015/16	23,35	0,92	3,84	10,02	7,23	0,68	7,20	9,13	0,17	0,00	0,00	0,66	63,19
2016/17	6,71	20,17	2,31	4,24	3,96	5,23	0,24	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00	47,08
2017/18	4,79	0,99	10,96	2,03	1,25	33,89	6,60	1,17	0,05	0,00	0,05	0,10	61,89
2018/19	4,22	8,15	2,87	0,59	4,09	3,69	3,89	0,29	0,00	0,01	1,18	2,25	31,22
2019/20	4,42	12,58	32,84	2,01	0,25	4,22	2,81	3,88	0,00	0,00	0,00	0,26	63,27
<b>Média</b>	<b>6,19</b>	<b>8,86</b>	<b>7,51</b>	<b>7,19</b>	<b>5,23</b>	<b>6,29</b>	<b>3,80</b>	<b>3,24</b>	<b>0,34</b>	<b>0,08</b>	<b>0,14</b>	<b>1,17</b>	<b>50,03</b>

De modo a obter a curva de duração média anual de caudais médios diários transformou-se a série de escoamentos diários, obtidas para a secção da futura barragem, em séries de caudais médios diários.

Na figura e quadro seguintes apresenta-se a curva obtida para aquela secção.



**Figura 4.1 – Curva de duração média anual de caudais médios diários na secção da futura barragem do Pisão**

**Tabela 4-3 – Curva de duração média anual de caudais médios diários na secção da futura barragem do Pisão**

Duração (dias)	Q (m³/s)	Duração (dias)	Q (m³/s)
1	40,521	105	0,644
2	34,621	110	0,579
3	30,151	115	0,512
4	25,891	120	0,457
5	22,287	125	0,405
6	20,313	130	0,359
7	18,166	135	0,323
8	16,807	140	0,299
9	15,420	145	0,278
10	13,893	150	0,250
15	9,787	155	0,229
20	7,278	160	0,215
25	5,646	165	0,191
30	4,564	170	0,159
35	3,695	175	0,130
40	3,109	180	0,109
45	2,657	185	0,090
50	2,299	190	0,072
55	2,054	195	0,059
60	1,804	200	0,048

Duração (dias)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Duração (dias)	Q (m <sup>3</sup> /s)
65	1,640	205	0,036
66,4	1,582	210	0,028
70	1,477	215	0,021
75	1,310	220	0,014
80	1,163	225	0,010
85	1,033	230	0,006
90	0,915	235	0,003
95	0,816	240	0,002
100	0,718	365	0,000

De acordo as diretivas da APA, para a simulação da exploração da albufeira, adotaram-se afluências à seção da barragem ligeiramente inferiores às estimadas pelo Consórcio e apresentadas atrás e detalhadamente no Tomo 2, devido à eventual influência de um cenário de Alterações Climáticas que já estará a ocorrer (RCP4.5). Assim, essa redução corresponde a um escoamento anual médio de 190 mm (afluência média anual de 46,43 hm<sup>3</sup> e caudal modular de 1,47 m<sup>3</sup>/s). Estas afluências foram adotadas para a simulação de exploração das albufeiras que se apresenta no Tomo 2.

### 4.3 CAUDAL SÓLIDO

A bacia hidrográfica da barragem do Pisão encontra-se incluída numa área com produção de sedimentos estimada entre 400 e 600 ton.km<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>), tendo como base o mapa de produção de sedimentos produzido para Portugal Continental (Rocha, 1981)<sup>1</sup>.

A relação entre a quantidade de sedimentos que fica depositada na albufeira e a quantidade de sedimentos afluentes à mesma é traduzida pela curva de eficiência de retenção da albufeira (BRUNE, 1953<sup>2</sup>).

Na tabela seguinte apresentam-se os resultados da estimativa de produção de sedimentos efetiva para a bacia hidrográfica da barragem do Pisão.

---

1 Rocha, J. S. (1998). O assoreamento das albufeiras e o ambiente. Seminário Barragens e Ambiente, Porto.

2 Brune, G. M. (1953). «*Trap efficiency of reservoirs*». Transactions, American Geophysical Union, Vol. 34 n.º3, p 407-417.

**Tabela 4-4 – Estimativa de afluências de sedimentos à albufeira da barragem do Pisão**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Abacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)</b>	244,55
<b>P<sub>sed</sub> (ton/km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>)*</b>	450
<b>C (hm<sup>3</sup>)</b>	116
<b>C (acre-feet)</b>	94 043
<b>W (mi<sup>2</sup>)</b>	94,42
<b>C<sub>T</sub> (%)</b>	99
<b>P<sub>sed</sub> efetiva (t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	446

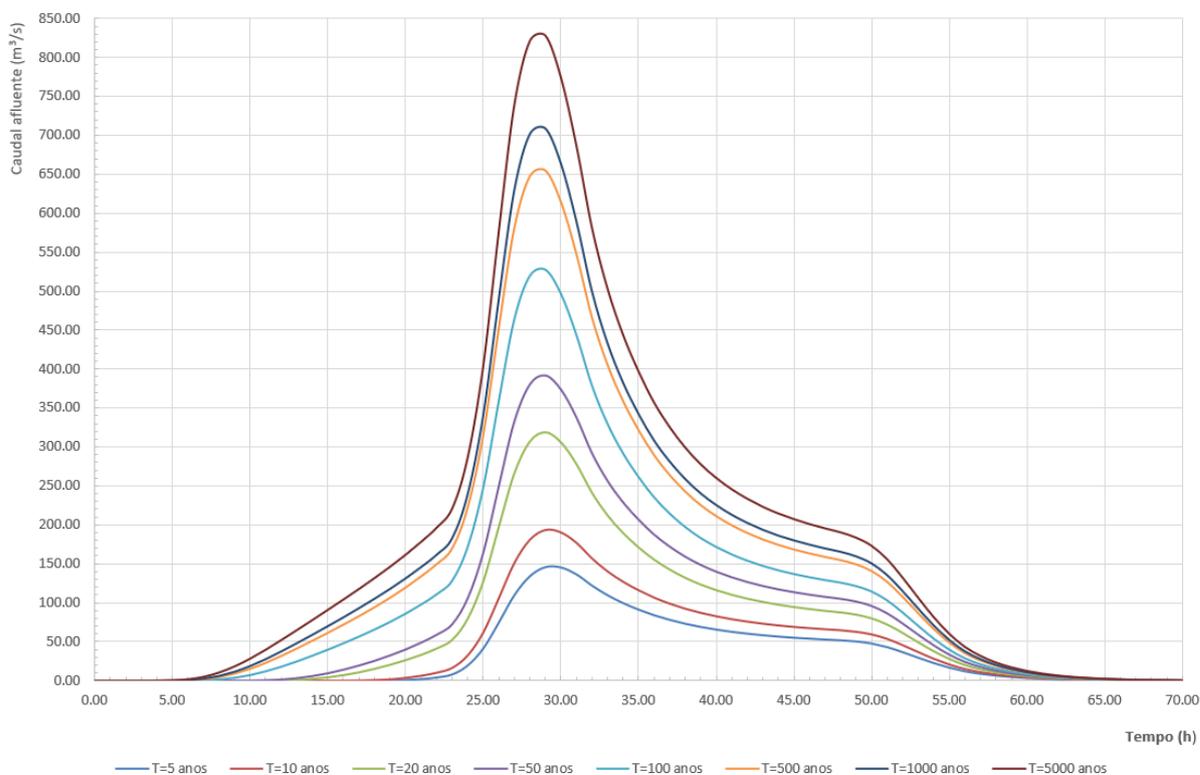
\* Determinada através da média estimada dos valores representados no mapa de produção de sedimentos.

Considerando um peso volúmico dos sedimentos de 1,40 t/m<sup>3</sup> e um período de vida útil das obras de 70 anos, obteve-se um volume total de sedimentos retido na albufeira de cerca de 5,50 hm<sup>3</sup> no final da vida útil, correspondendo a um volume anual de sedimentos retidos de cerca de 0,08 hm<sup>3</sup>.

O volume total de sedimentos estimado para os 70 anos, corresponde sensivelmente a cerca de 5% do volume total da albufeira.

#### **4.4 CAUDAIS DE CHEIA**

O estudo de cheias, que se apresenta no Tomo 2 do Volume 1, foi realizado para vários períodos de retorno, os hidrogramas das cheias afluentes à barragem do Pisão são os apresentados na figura seguinte.



**Figura 4.2 – Hidrogramas de cheia afluentes à albufeira da barragem do Pisão**

Como se apresenta no Tomo 2, o descarregador de cheias da barragem foi dimensionado com base no hidrograma de cheia afluyente com 5000 anos de período de retorno, agravado de 6% para ter em consideração o efeito das Alterações Climáticas, cujo caudal de ponta é de 828,4 m<sup>3</sup>/s.

---

## 5 CONSUMOS A EXTRAIR DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DO PISÃO

### 5.1 ABASTECIMENTO PARA REGA

Foram realizadas simulações em computador da exploração das três albufeiras, para as quais foram admitidos os seguintes consumos:

**Tabela 5-1 – Consumos considerados**

Albufeira	Tipo de Consumo	Volume pedido em ano médio (hm <sup>3</sup> )
Pisão	Rega	rega 4663 ha: 25,86
	Abastecimento urbano	0,83
Maranhão	Rega	109,13
	Abastecimento industrial	1,98
Montargil	Rega	81,18

As simulações realizadas contemplaram os seguintes cenários:

- Cenário 1: Situação atual, sem construção da Barragem do Pisão para o clima “atual” e com alterações climáticas.
- Cenário 2: Construção da Barragem do Pisão, com regadio de 4633 ha, para o clima “atual” e com alterações climáticas.

### 5.2 ABASTECIMENTO URBANO

As necessidades de água para abastecimento público a partir da futura albufeira do Pisão foram retiradas do ofício recebido da AdTV (Ref.<sup>a</sup> S/AVT/2021/1752), datado de 02/07/2021, e da troca de correspondência também com a AdP.

Ficou acordado com estas entidades gestoras que os caudais públicos a fornecer corresponderiam a um valor médio anual de 0,825 hm<sup>3</sup>, sendo que estes serão fornecidos em grande maioria no período seco para reforço do sistema existente de Póvoa/Meadas.

Considerou-se que o referido período seco vai de maio a setembro, sendo a distribuição mensal uniformemente distribuída, conforme se apresenta na seguinte tabela.

**Tabela 5-2– Necessidades de água para abastecimento público a partir da barragem do Pisão**

Meses	Volume abastecimento (m <sup>3</sup> )	Distribuição mensal
Out		0.00%
Nov		0.00%
Dez		0.00%
Jan		0.00%
Fev		0.00%
Mar		0.00%
Abr		0.00%
Mai	165,000	20.00%
Jun	165,000	20.00%
Jul	165,000	20.00%
Ago	165,000	20.00%
Set	165,000	20.00%
<b>Total</b>	<b>825,000</b>	<b>100%</b>

Relativamente à reserva suplementar de água para abastecimento público a manter na albufeira do Pisão, de acordo com as mesmas entidades gestoras deverá ser de 3 hm<sup>3</sup>.

### 5.3 EVAPORAÇÃO

A estimativa de evaporação nas albufeiras foi realizada a partir dos registos de evaporação em Montargil, conforme apresentado no Tomo 2.

Os valores de evaporação foram multiplicados pelos coeficientes de tina, conforme se apresenta na seguinte tabela.

**Tabela 5-3 – Valores de evaporação mensal e anual registados em Montargil**

Ano hidro-lógico	Evaporação Albufeira mensal e anual (mm)												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abri	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
Média	111	68	55	85	80	118	128	193	222	283	255	170	1768
Coef. Tina	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	-
Media albufeira	78	48	33	51	48	71	90	135	178	226	204	136	1297

Com base na série de precipitações mensais registadas no posto de Portalegre para o período da simulação, 1990/91 a 2019/20, foi possível estimar a evaporação líquida na albufeira.

No Anexo 6 do Tomo 2 apresenta-se a série de evaporações líquidas estimada para a albufeira do Pisão.

---

## 5.4 CAUDAIS ECOLÓGICOS

No âmbito dos estudos realizados, o Consórcio efetuou estudos dos caudais ecológicos na ribeira de Seda na zona prevista a jusante da seção da barragem, no que concerne ao regime de caudais ecológicos (RCE) proposto para a nova barragem do Pisão.

Assim, baseado no método do INAG e no método do perímetro molhado concluiu-se que o valor de RCE com um valor médio anual da ordem de 0,30 m<sup>3</sup>/s será o mais aceitável. O mesmo é equivalente a 18,9% do caudal modular estimado na seção da barragem (1,47 m<sup>3</sup>/s).

Em termos de distribuição mensal dos caudais ecológicos a libertar, são os apresentados no seguinte quadro.

**Tabela 5-4 – Regime de caudais ecológicos proposto a jusante da barragem do Pisão**

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
<b>Distribuição mensal (%)</b>	4,0	12,0	17,0	17,0	17,0	12,0	9,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0

A APA, no seu parecer emitido ao Estudo Prévio, solicitou que o dispositivo de descarga do caudal ecológico esteja preparado para descarregar, caso seja necessário, os caudais ecológicos estimados pelo método do INAG, tal como se apresenta no Tomo 4.

Os caudais ecológicos estimados pelo método do INAG correspondem a cerca de 36% do caudal modular, com a distribuição mensal proposta e apresentada na seguinte tabela.

**Tabela 5-5 – Regime de caudais ecológicos proposto a jusante da barragem do Pisão (método do INAG)**

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
<b>Distribuição mensal (%)</b>	4,0	13,0	20,0	15,0	18,0	13,0	11,0	4,0	0	2,0	0	0

Dado que o regime imposto no Contrato para as barragens de Maranhão e Montargil poderá ser um pouco conservador, visto que não considera uma separação entre anos hidrológicos médios, secos e húmidos (ver Tomo 2), propôs-se, no presente estudo, determinar quais os anos secos das séries de afluências mensais estimadas a barragem do Pisão e aplicar uma redução no caudal ecológico a descarregar para esses anos.

A metodologia adotada foi a seguinte, resumidamente:

- Considerou-se um ano hidrológico seco um ano em que a precipitação anual seja inferior a 80% da média anual dos 30 anos das séries registadas.
- Para a série de escoamentos afluentes à barragem do Pisão, a precipitação média anual na série de 30 anos é de 803 mm. Assim, um ano seco corresponderá a uma precipitação anual de cerca de 642 mm.
- Por aplicação da expressão de Turc ajustada para a barragem do Pisão (ver Tomo 2), verifica-se que a precipitação anual de 642 mm corresponde aproximadamente a um escoamento anual de 114 mm.
- Fixaram-se assim os anos hidrológicos de 1991/92, 1992/93, 2001/02, 2004/05 e 2011/12 como secos.
- Para estes anos secos considerou-se uma redução de 75% do caudal ecológico mantendo-se a mesma distribuição mensal.

Com base na metodologia acima descrita, apresentam-se nas figuras seguintes os volumes ecológicos mensais previstos descarregar em ano médio/húmido e em ano seco para a barragem do Pisão.

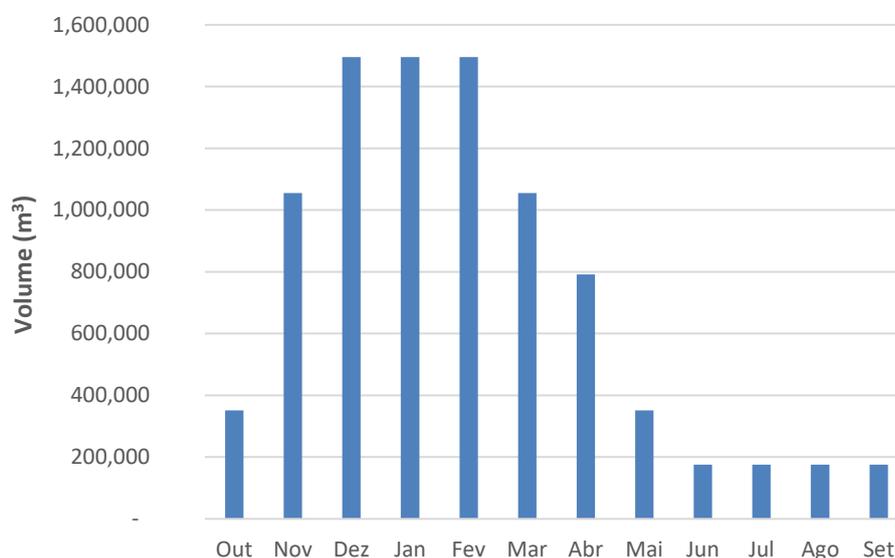
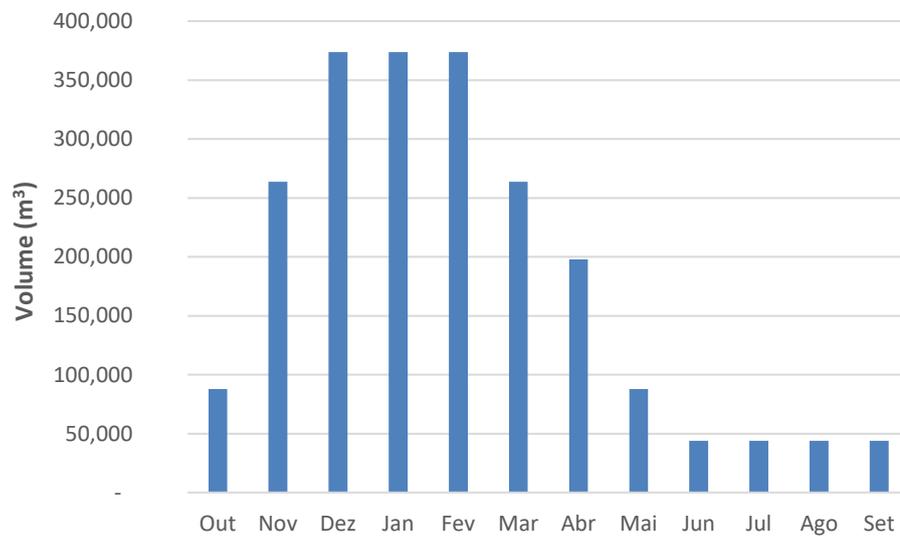


Figura 5.1 – Volumes ecológicos mensais em ano médio/húmido. Barragem do Pisão



**Figura 5.2 – Volumes ecológicos mensais em ano seco. Barragem do Pisão**

## 6 CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DO PISÃO

### 6.1 CURVAS DE ÁREAS INUNDADAS E DE VOLUMES ARMAZENADOS

No âmbito dos estudos foram realizados trabalhos de cartografia e topografia que permitiram levantar a área prevista inundar pela futura albufeira do Pisão.

Com base na topografia levantada à escala 1/2000 calcularam-se assim os valores das curvas dos volumes armazenados e áreas inundadas para diferentes cotas.

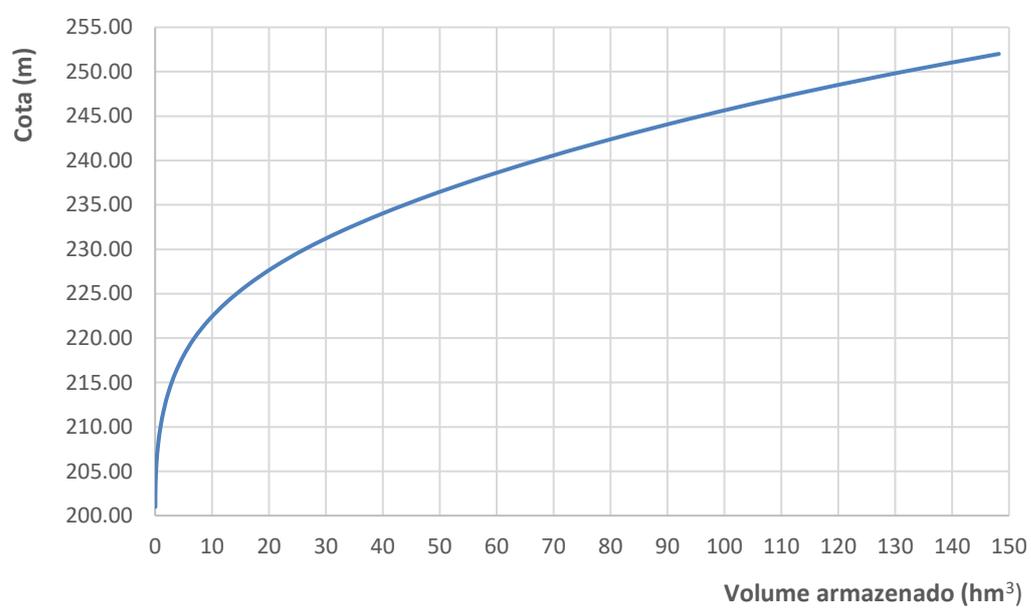
Na tabela seguinte apresentam-se os valores estimados e nas figuras as curvas obtidas.

**Tabela 6-1 – Cotas, volumes armazenados e áreas inundadas para albufeira do Pisão**

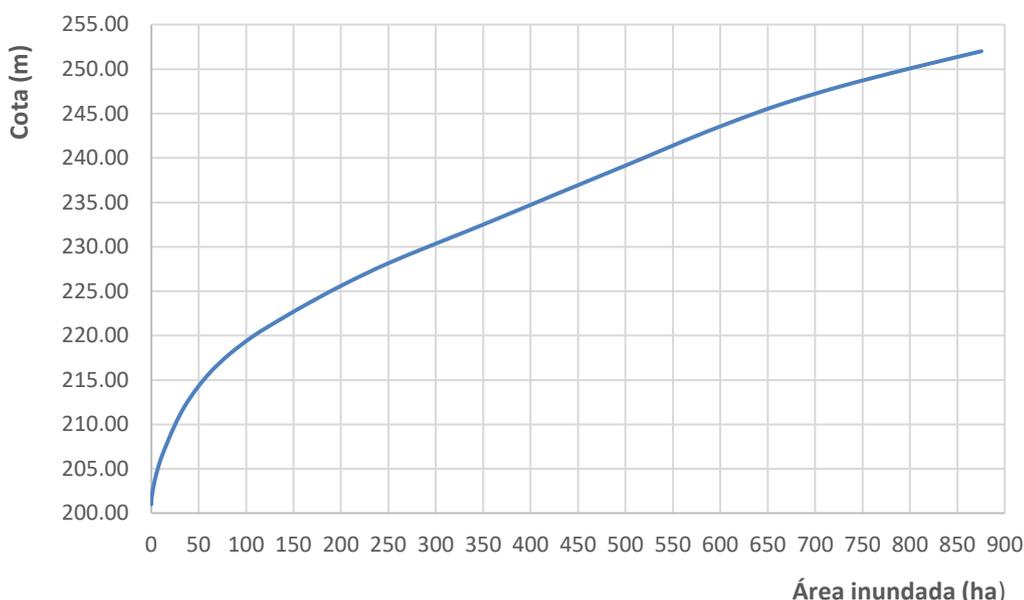
Cota (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Área (ha)
201	0,0	0,0
202	0,0	0,7
204	0,1	4,4
206	0,2	9,8
208	0,5	17,1
210	0,9	25,2
212	1,5	35,0
214	2,3	47,8
216	3,5	63,4
218	4,9	83,5
220	6,9	108,4
222	9,3	139,1
224	12,5	172,0
226	16,3	207,6
228	20,8	247,0
230	26,2	292,0
232	32,5	338,8
234	39,8	384,2
236	47,9	429,0
238	57,0	474,3
240	67,0	519,5

---

Cota (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Área (ha)
242	77,8	563,9
244	89,6	611,2
246	102,3	663,3
248	116,2	725,5
250	131,5	797,7
252	148,2	875,3



**Figura 6.1 – Curvas de volumes armazenados da albufeira do Pisão**



**Figura 6.2 – Curvas de áreas inundadas da albufeira do Pisão**

## 6.2 NÍVEIS E VOLUMES CARACTERÍSTICOS

Com base nas simulações hidráulicas realizadas para a albufeira do Pisão e no estudo do amortecimento de cheias (ver Tomo 2) definiram-se as características principais da albufeira que se resumem na seguinte tabela.

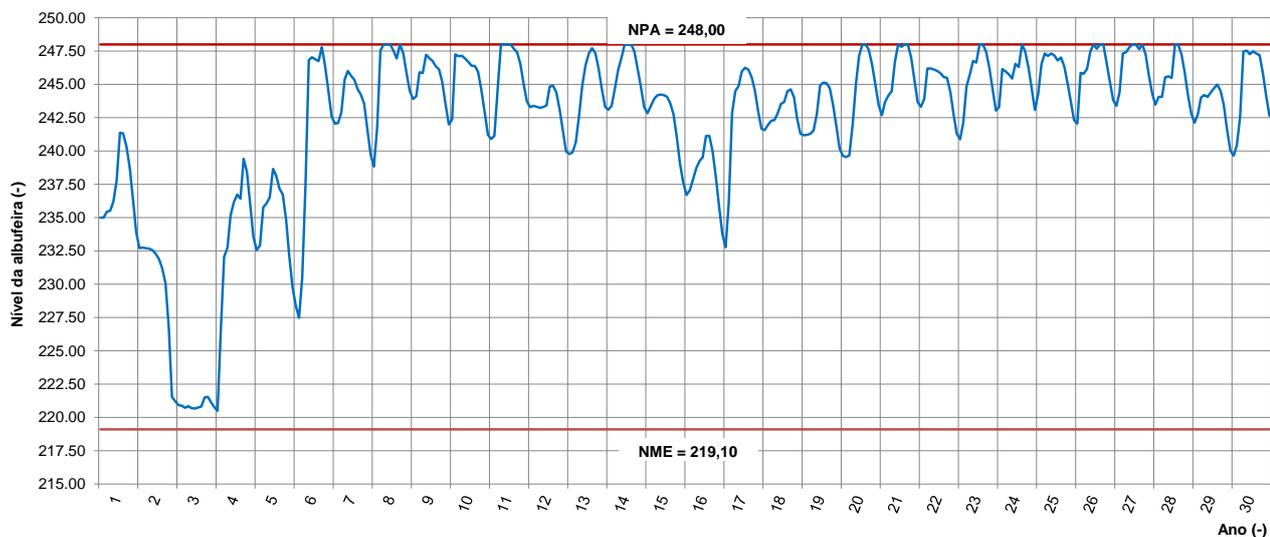
**Tabela 6-2 – Características da albufeira do Pisão**

Barragem	Superfície no NPA (ha)	Níveis (m)			Capacidade (hm <sup>3</sup> )		
		NPA	NMC	NME	total	útil	morta
Pisão	725,5	248,00	250,45	219,10	116,2	109,3	6,9

É de referir que o NPA e o NME para a barragem do Pisão foram já fixados em estudos anteriores. Conforme se pode ver na tabela anterior, o volume morto considerado é de cerca de 7 hm<sup>3</sup> que é amplamente suficiente para albergar os sedimentos acumulados ao longo da exploração da barragem (ver Seção 4.3).

Ainda com base nas simulações hidráulicas realizadas e apresentadas no Tomo 2, foi possível simular os níveis da albufeira ao longo do período de simulação de 30 anos (1990/91 a 2019/20). Todas as simulações na albufeira do Pisão foram realizadas admitindo que esta se encontrava inicialmente na cota 235,00, que corresponde aproximadamente a metade do volume total.

Na figura seguinte apresenta-se a variação do nível da albufeira para a situação de regadio de Cenário 2 (ver Seção 5.1) admitindo uma situação climática estável.

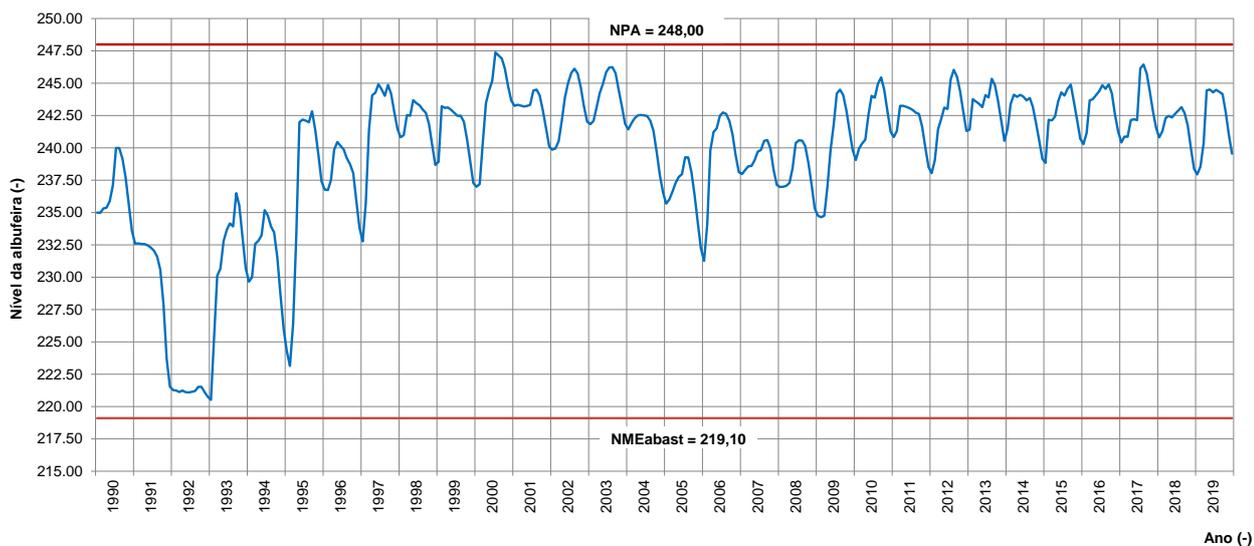


**Figura 6.3 – Variação do nível da albufeira do Pisão para o Cenário 2 sem Alterações Climáticas**

Para o Cenário 2 têm-se os seguintes valores médios:

- Nível médio na albufeira: 242,68
- Volume médio na albufeira: 86,5 hm<sup>3</sup>
- Área média inundada: 589,2 ha

Na figura seguinte, apresenta-se a simulação dos níveis da albufeira para o Cenário 2 com Alterações Climáticas.



**Figura 6.4 – Variação do nível da albufeira do Pisão para o Cenário 2 com Alterações Climáticas**

Para o Cenário 2, com Alterações Climáticas, têm-se os seguintes valores médios:

- Nível médio na albufeira: 239,55
- Volume médio na albufeira: 68,4 hm<sup>3</sup>
- Área média inundada: 511,6 ha

---

## **7 GEOLOGIA E GEOTECNIA**

As condições geológico-geotécnicas do local de implantação das obras deste aproveitamento hidráulico são apresentadas em detalhe no Tomo 3 do Volume 1 deste estudo.

## **8 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS OBRAS**

### **8.1 BARRAGEM**

#### **8.1.1 Descrição da Solução**

##### **8.1.1.1 Considerações Iniciais**

A solução adotada para a barragem do Pisão manteve o alinhamento em planta previsto nas fases de estudo anteriores, assim como a composição em aterro zonado, mediante a introdução de alguns ajustes às características dos materiais constituintes de cada zona, função dos resultados da campanha de prospeção entretanto executada para esta fase do projeto.

É de referir que o eixo preconizado para a barragem não foi reanalisado no presente estudo final, dado que este já se encontrava fixado nos Termos de Referência, com base nos estudos anteriores.

Nos subcapítulos seguintes faz-se a descrição da concepção e composição da barragem, do tratamento superficial da sua fundação e da cortina de impermeabilização profunda.

As análises numéricas dos estudos de estabilidade da barragem, de percolação e de tensão-deformação são apresentadas no Volume 1 – Tomo 5. Os resultados obtidos com as diversas análises numéricas demonstram a estabilidade da barragem para todos os cenários de solicitação regulamentarmente exigidos, assim como um comportamento adequado em termos de deformação e percolação.

##### **8.1.1.2 Descrição Geral do Aterro e Concepção do Perfil Transversal Tipo**

O aterro da Barragem do Pisão tem um desenvolvimento total de cerca de 1 350 m, considerando a seção entre o encontro direito e o descarregador de cheias (desenho 21031-EF-BAR-DES-2105, 4 folhas). À esquerda do descarregador de cheias, desenvolve-se mais um troço de cerca de 8 m correspondente quase exclusivamente ao reaterro da trincheira de escavação para implantação desta estrutura, o qual deverá ser feito seguindo as mesmas especificações técnicas do restante aterro da barragem.

O eixo da barragem apresenta um trecho reto, com 1 238 m de extensão, desenvolvendo-se o restante alinhamento em curva, de raio 130 m. Na zona mais alta o aterro apresenta uma altura máxima acima da fundação de cerca de 52 m, estimando-se que o volume total de aterro seja de cerca de  $2,54 \times 10^6 \text{ m}^3$  (desenho 21031-EF-BAR-DES-2106).

Dada a assimetria das margens, o aterro apresenta um grande desenvolvimento na margem direita, todo em alinhamento reto, sendo que a curva existente no encontro esquerdo foi

---

imposta pela necessidade de compatibilizar o alinhamento do aterro com o alinhamento do descarregador de cheias. Ao longo da margem direita o aterro atravessa diversas linhas de água, mas que, contudo, apresentam pequena expressão não condicionando a concepção do aterro.

Conforme referido anteriormente, a solução adotada para o aterro da barragem é uma solução de aterro zonado, com núcleo central em solos de baixa permeabilidade e maciços estabilizadores em mistura de solo-enrocamento, conforme se ilustra nos desenhos 21031-EF-BAR-DES-2107 (2 folhas) e 21031-EF-BAR-DES-2108 (2 folhas).

O coroamento do aterro apresenta uma largura de 10 m, com o paramento de montante com uma inclinação de 1V:2,5H, sem banquetas, e o paramento de jusante com uma inclinação de 1V:2H, apresentando 3 banquetas com desníveis entre si de cerca de 15 m.

A estanquidade da barragem é assegurada pelo núcleo central, que apresenta uma largura mínima de 6,0 m e paramentos inclinados a 4V:1H. O núcleo será construído com solos de alteração de gnaisses migmatíticos, com percentagem de finos variável entre 25% e 55% e índice de plasticidade superior a 8% e geralmente inferior a 20%. É de referir que, no presente estudo, dá-se prioridade à utilização dos referidos solos em detrimento dos solos residuais de xisto, uma vez que a ocorrência nas manchas de empréstimo destes últimos, com características adequadas para o núcleo, é muito dispersa e deverá conduzir a solos com frequente contaminação de materiais demasiado grosseiros. Estima-se que estes materiais sejam explorados maioritariamente fora da albufeira nas manchas identificadas no Estudo Geológico-Geotécnico.

Já os maciços estabilizadores de montante e de jusante serão realizados com misturas de solo-enrocamento, provenientes da exploração de xistos ripáveis ocorrentes no interior da albufeira, com percentagem de finos inferior a 25% e percentagem de material retido no peneiro  $\frac{3}{4}$ " inferior a 25%. A montante do núcleo foi ainda prevista uma zona de transição entre os solos-enrocamentos e os materiais do núcleo, constituída por saibros graníticos também eles existentes na albufeira. Esta zona de transição tem o propósito de diminuir a permeabilidade do maciço estabilizador de montante e assim permitir uma otimização da espessura do núcleo, permitindo reduzir a necessidade de materiais finos provenientes de manchas localizadas fora da albufeira, com claras vantagens económicas e ambientais.

No pé de jusante da barragem, na zona da linha de água foi prevista a realização de um pé de enrocamento, com funções de proteção do aterro contra a inundação dessa zona, cuja inclinação do talude é de 1V:1,5H.

A jusante do núcleo foi previsto um filtro subvertical, com uma largura de 3,0 m, que na base se prolonga para jusante através de um tapete drenante. Na zona do fundo do vale o tapete drenante, com uma espessura de 2,0 m, prolonga-se até à face do talude de jusante, garantido

a saída das águas por gravidade, sendo que para garantir a cota de saída do tapete drenante foi previsto um enchimento inferior com materiais argilosos semelhantes aos do núcleo, o qual garante também uma impermeabilização da base do tapete e um melhor encaminhamento das águas para o interior deste.

Este tapete é prolongado até às margens da barragem, tendo-se, no entanto, feito uma otimização da sua largura, tendo em conta as infiltrações progressivamente menores que se irão verificar no sentido dos encontros, função da menor carga hidráulica. Este tapete terá diversas saídas ao longo do encontro direito devido ao atravessamento de depressões correspondentes a linhas de água. Os materiais do dreno serão protegidos por camadas de filtro, em areia, a colocar superiormente e inferiormente.

Relativamente à proteção dos taludes do aterro, prevê-se a proteção com enrocamento do paramento de montante, com uma espessura de 0,70 m, abaixo da cota 230,0 m, e com 0,90 m acima da referida cota, onde se prevê maior incidência da ondulação gerada na albufeira. Sob o enrocamento de proteção será colocada uma camada de transição. Os enrocamentos a utilizar na proteção do paramento de montante poderão ser obtidos em pedreiras a abrir no interior da albufeira, ou em pedreiras existentes nas proximidades da barragem que se encontrem em exploração. Já para a proteção do paramento de jusante prevê-se a aplicação de uma camada de terra vegetal, com cerca de 0,20 m de espessura, proveniente das escavações para o saneamento das fundações e da decapagem das manchas de empréstimo e da albufeira, prevendo-se também a aplicação de hidrossementeira.

No que se refere à ensecadeira de montante, esta ficará integrada no maciço de montante da barragem, com o paramento alinhado com o restante paramento da barragem, e apresenta um perfil zonado, com núcleo central em solos de baixa permeabilidade. A estanquidade da ensecadeira é assegurada pelo núcleo central, que apresenta uma largura mínima de 3,0 m e paramentos inclinados a 5V:1H. O núcleo será construído com solos de alteração de gnaisses migmatíticos, com percentagem de finos variável entre 25% e 55% e índice de plasticidade superior a 8% e geralmente inferior a 20%, tal como o núcleo da barragem. É de referir que, as dimensões do núcleo foram reduzidas ao mínimo considerado aceitável por forma a minimizar o consumo de solos argilosos nesta estrutura. Os maciços estabilizadores de montante e de jusante da ensecadeira, que apresentam inclinações de 1V:2,5H e 1V:2,0H, respetivamente, serão realizados com misturas de solo-enrocamento, provenientes da exploração de xistos ripáveis ocorrentes no interior da albufeira, com percentagem de finos inferior a 25% e percentagem de material retido no peneiro  $\frac{3}{4}$ " inferior a 25%.

---

### 8.1.1.3 Largura do Coroamento

Existem na bibliografia diversas expressões que permitem determinar uma largura indicativa para o coroamento de aterros, dependendo, em geral, da altura do aterro. Tendo em conta as expressões propostas por Preece e pela *Comisión Interministerial de Normas Sismoresistentes*<sup>3</sup>, obtêm-se os seguintes valores:

- Preece:  $L_c = 1,1 \sqrt{h + 1} = 8,0$  m
- CINS:  $L_c = 3 + 1,5(h - 1,5)^{1/3} = 8,5$  m

Para garantir um comprimento de percolação da barragem adequado e, simultaneamente, uma boa funcionalidade como eixo viário, considera-se adequado adotar uma largura de coroamento de 10,0 m.

Por forma a permitir a circulação de veículos previu-se um revestimento betuminoso com as características descritas mais adiante.

Em termos de perfil transversal, o coroamento terá uma pendente de 1% para montante, com 2,50 m de faixa de rodagem para cada lado do eixo, mais 0,75 m de berma, um lancil com 0,35 m de largura, um passeio com 1,20 m de largura e um muro lateral com guarda-corpos com 0,20m de largura, conforme representado nos pormenores do Desenho 2106.

Na berma do lado de montante serão instaladas sarjetas com caixa e grelha em aço a cada 30,0 m para recolha das águas superficiais do pavimento, as quais serão evacuadas através de tubos de drenagem em PVC DN100. Nos troços entre sarjetas, o pavimento rematará contra o lancil, com exceção da última camada de 5 cm (camada de desgaste) que termina a 2,85 m do eixo, por forma a criar uma pequena depressão lateral para encaminhamento longitudinal das águas para as sarjetas.

Os passeios serão materializados em betão leve com recobrimento de 3 cm em betonilha esquartelada. Em ambos os passeios será instalada uma rede de tubagens cuja definição é apresentada no Projeto de Instalações Elétricas. Na extremidade dos passeios será colocado um murete de contenção e segurança em L, com guarda-corpos metálico. Este murete será interrompido nos locais onde serão instaladas as marcas de superfície previstas no plano de observação da barragem e na zona das escadas de acesso pedonal às banquetas.

---

<sup>3</sup> Marcelino, J. (2008). Projecto, construção e exploração de pequenas barragens de aterro. LNEC, Lisboa.

#### 8.1.1.4 Folga e Cota do Coroamento

No Volume 1 – Tomo 4 é apresentado o cálculo da folga e cota de coroamento para atender aos requisitos para uma barragem deste tipo, tendo-se fixado o coroamento da barragem à cota 252,00.

#### 8.1.1.5 Sobreelevação

Por forma a fazer face aos assentamentos que se processam após a construção do aterro, torna-se necessário prever a sobreelevação do coroamento do aterro. Para isso, recorreu-se à estimativa dos assentamentos de longo prazo com base nas disposições de Fell (2005) apresentada no Volume 1 – Tomo 5. Os valores máximos dos assentamentos obtidos, correspondentes à fase do final da construção, são apresentados na Tabela 8-1 .

**Tabela 8-1 – Assentamentos máximos expectáveis**

PK	Altura da barragem (m)	Assentamentos expectáveis a longo prazo (m)	% de assentamento em relação à altura da barragem	
			Intervalo	Média
0+400	21,70	0,046 – 0,253	0,21% - 1,17%	0,69%
0+700	27,20	0,056 – 0,308	0,21% - 1,13%	0,67%
1+200	52,00	0,106 – 0,583	0,20% - 1,12%	0,66%
1+250	41,00	0,084 – 0,462	0,20% - 1,13%	0,67%

Os valores dos assentamentos expectáveis a longo prazo situam-se entre 0,20% e 1,17%, para uma média da ordem dos 0,66% a 0,69%, os quais são valores compatíveis com a experiência em barragens deste tipo. Por razões construtivas optou-se por fazer um acerto para percentagens de sobreelevação da ordem dos 0,6% a 1,0% da altura da barragem em cada seção. Na tabela seguinte apresentam-se os valores das sobreelevações adotadas para cada troço da barragem.

**Tabela 8-2 – Sobreelevações adotadas para cada troço de barragem**

PK	Altura aproximada da barragem (m)	Assentamentos máximos expectáveis - cálculo (m)	% de assentamento em relação à altura da barragem	Sobreelevação adotada (m)	Cota de sobreelevação adotada	% da sobreelevação adotada em relação à altura da barragem
0+000	0,00	-	-	0,00	252,00	0,0%
0+100	9,00	-	-	0,00	252,00	0,0%
0+200	7,00	-	-	0,00	252,00	0,0%
0+300	9,50	-	-	0,00	252,00	0,0%
0+400	21,70	0,046 – 0,253	0,69%	0,15	252,15	0,7%
0+517	21,50	-	-	0,15	252,15	0,7%
0+600	19,80	-	-	0,15	252,15	0,8%

PK	Altura aproximada da barragem (m)	Assentamentos máximos expectáveis - cálculo (m)	% de assentamento em relação à altura da barragem	Sobreelevação adotada (m)	Cota de sobrelevação adotada	% da sobrelevação adotada em relação à altura da barragem
0+700	27,20	0,056 – 0,308	0,67%	0,15	252,15	0,6%
0+800	24,50	-	-	0,15	252,15	0,6%
0+900	25,39	-	-	0,25	252,25	1,0%
1+000	32,00	-	-	0,25	252,25	0,8%
1+100	46,20	-	-	0,40	252,40	0,9%
1+200	52,00	0,106 – 0,583	0,66%	0,40	252,40	0,8%
1+250	41,00	0,084 – 0,462	0,67%	0,40	252,40	1,0%
1+300	23,40	-	-	0,20	252,20	0,9%
1+325	12,30	-	-	0,10	252,10	0,8%
1+349	0,00	-	-	0,00	252,00	0,0%

## 8.1.2 Geometria das Escavações

### 8.1.2.1 Considerações gerais

Neste capítulo apresenta-se a justificação das geometrias adotadas para os diversos taludes de escavação a realizar, quer provisórios, quer definitivos. As diversas geometrias estão representadas nos desenhos deste projeto relativos a cada uma das estruturas em causa. No desenho 21031-EF-BAR-DES-2109 (4 folhas) apresenta-se a planta geral de escavações.

Os taludes de escavação definitivos mais importantes a realizar são os do canal de entrada do descarregador de cheias, com alturas máximas da ordem dos 22 m, os taludes do canal de entrada da descarga de fundo, com alturas máximas da ordem dos 12 m, e os taludes de escavação dos acessos, com 7 m e 10 m de altura máxima, respetivamente para o acesso da margem direita e da margem esquerda da barragem.

Os taludes de escavação provisória mais importantes são os que terão de ser materializados para construção das obras de betão do descarregador de cheias e respetiva bacia de restituição, assim como para a tomada de água, descarga de fundo e bacia de restituição, central e derivação para o by-pass.

A geometria das escavações foi definida em função dos parâmetros de resistência ao corte dos materiais atravessados, justificados no Estudo Geológico-Geotécnico e nas análises cinemáticas e de estabilidade efetuadas e apresentadas nos capítulos seguintes.

No caso do horizonte mais superficial, foi considerada a resistência o corte da matriz do solo/rocha muito fraturada e decomposta (Horizontes ZG4 e ZG5).

No caso dos horizontes de rocha mais competente (ZG3, ZG2 e ZG1) utilizaram-se as propriedades resistentes das descontinuidades que integram o maciço rochoso, uma vez que são elas as responsáveis pelas eventuais instabilidades que possam vir a ocorrer. Nestas situações de taludes eminentemente rochosos fez-se ainda uma análise cinemática para os diversos taludes para avaliação do potencial de instabilização e do tipo de fenómenos de instabilidade passíveis de ocorrer.

#### **8.1.2.2 Taludes de escavação em ZG4 e ZG5**

Para os taludes de escavação que intercetarão os horizontes geotécnicos ZG4 e ZG5, com um comportamento mais próximo de um solo, a análise da estabilidade para a verificação da segurança do talude foi efetuada com base no método de Morgenstern-Price, recorrendo à utilização do programa de cálculo automático «Slide» da «Rockscience». Este programa de cálculo recorre à teoria do equilíbrio limite para a determinação dos coeficientes de segurança associados às superfícies de deslizamento potenciais em análise, permitindo calcular o fator de segurança mínimo correspondente.

As pressões intersticiais devidas à presença de nível freático foram simuladas pela adoção de uma linha piezométrica. Foram considerados os seguintes cenários para as condições hidrogeológicas decorrentes da posição do nível freático e sua interferência com a estabilidade dos taludes:

- Talude da obra do canal de entrada do descarregador de cheias: o talude materializado em ZG5 e ZG4 fica sempre acima da cota de máximo enchimento da albufeira, pelo que se considerou a situação com:
  - o talude seco;
  - saturação parcial deste talude em períodos de intensa pluviosidade. Nesta situação, devido ao carácter fraturado deste material, estima-se que haja alguma percolação e drenagem natural do maciço, pelo que existirá algum rebaixamento do nível freático no sentido do plano de escavação.
- Talude da obra do canal de entrada da descarga de fundo: o talude materializado em ZG5 e ZG4 ficará normalmente submerso após enchimento da albufeira, pelo que se considerou a situação com:
  - o talude seco (após a obra ou antes do enchimento da albufeira);
  - com talude totalmente imerso;
  - com saturação parcial em caso de esvaziamento da albufeira. Nesta situação, devido ao carácter fraturado deste material, estima-se que haja alguma percolação e

---

drenagem natural do maciço, pelo que existirá algum rebaixamento do nível freático no sentido do plano de escavação.

A verificação da segurança e da funcionalidade destes taludes foi feita de acordo com o disposto na NP EN 1997-1: 2009 (Eurocódigo 7). Em Portugal a verificação da segurança relativamente aos estados limites últimos de rotura estrutural ou de rotura do terreno em situações persistentes ou transitórias, devem ser realizadas tendo por base a Abordagem de Cálculo 1 (AC1) onde se incluem a combinação 1 (AC1-C1) e combinação 2 (AC1-C2).

No que concerne à AC1-C1, importa notar que as cargas permanentes devidas à ação da gravidade, de que é exemplo o peso próprio dos materiais, podem constituir em parte uma ação favorável ao deslizamento, contribuindo para o momento instabilizante e, por outro lado, contribuir para a estabilidade, sendo parte do momento estabilizante ou resistente. Por forma a acautelar esta situação na verificação da segurança, deverá ser aplicado (para a abordagem de cálculo 1, combinação 1) um fator de segurança de 1,0 e 1,11 às cargas desfavoráveis permanentes e variáveis, respetivamente, em substituição de 1,35 e 1,50. O fator de segurança obtido no final deverá, neste caso, ser igual ou superior a 1,35, em substituição de 1,0 proposto na verificação clássica segundo o EC7.

Na AC1-C2 os parâmetros resistentes devem ser afetados dos respetivos coeficientes parciais, obtendo assim os parâmetros de cálculo, e o coeficiente de segurança mínimo a obter no cálculo deverá ser de 1,0.

No caso da ação accidental (sismo), os parâmetros resistentes dos solos são afetados do coeficiente parcial de segurança de 1,10 e o coeficiente mínimo a obter no cálculo deve ser igual a 1,0.

Na Figura 8.1, na Figura 8.3 e na Figura 8.4 apresenta-se o resultado do cálculo de verificação da estabilidade para os taludes em ZG4 e ZG5 para as situações atrás mencionada, para ca uma das combinações e na Figura 8.5 apresenta-se o cálculo para a situação pseudo-estática (sismo). Foi considerada a altura máxima que estes taludes terão no atravessamento destes materiais, isto é, de 8 m e a inclinação de 1V/1,5H.

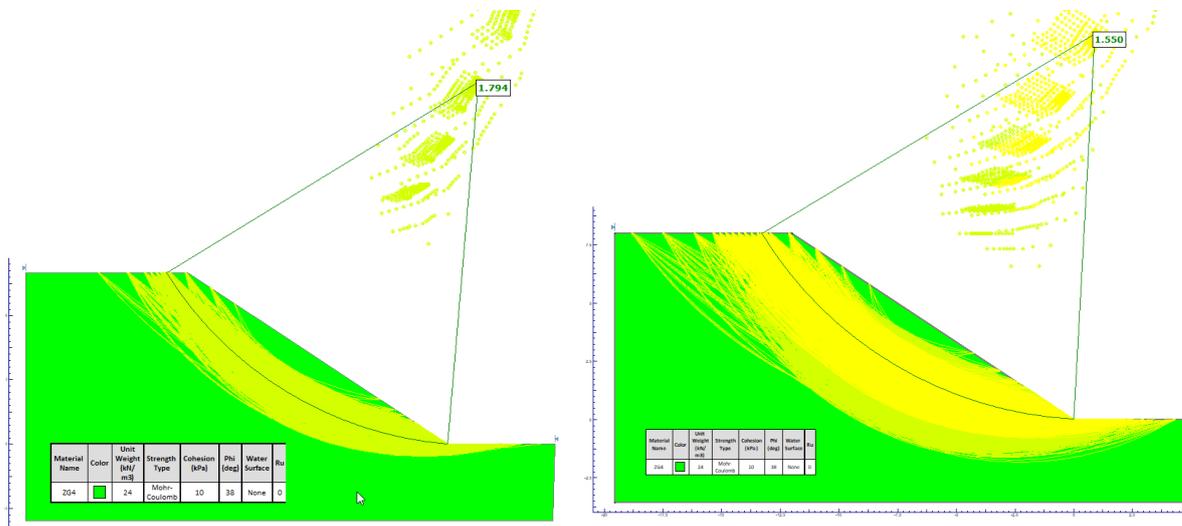


Figura 8.1- Análise de estabilidade para a situação sem nível freático (talude seco) – AC1-C1 (esquerda) e AC2-C2 (direita)

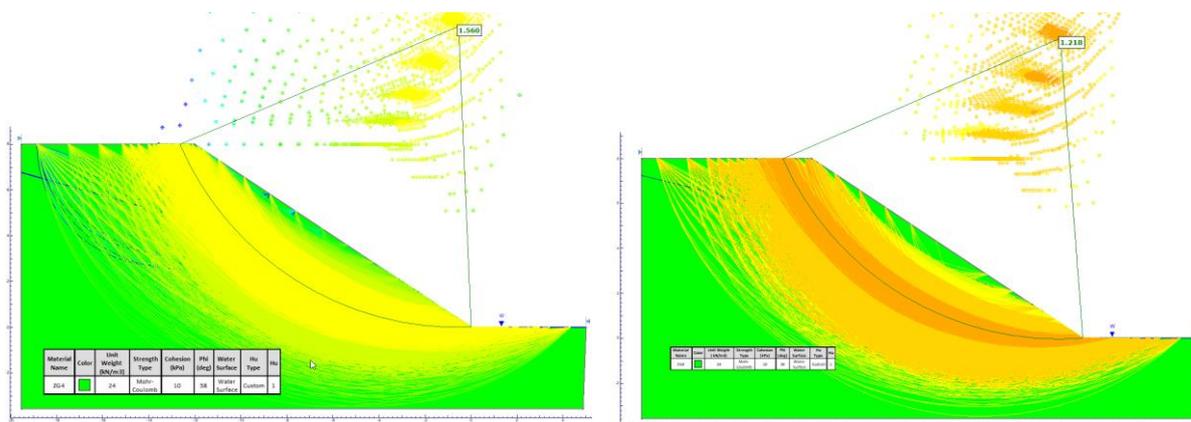


Figura 8.2- Análise de estabilidade para a situação de nível freático intermédio – AC1-C1 (esquerda) e AC2-C2 (direita)

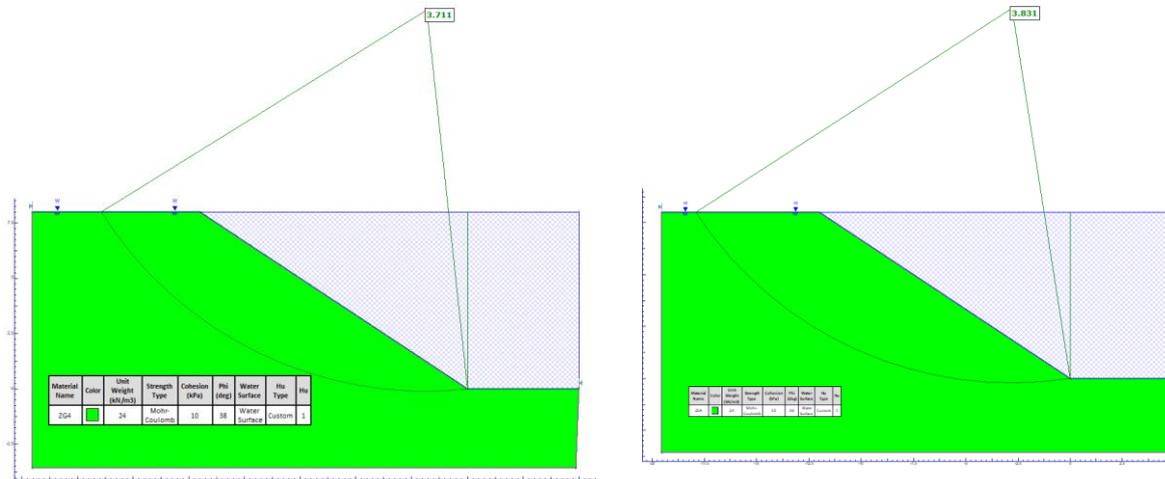


Figura 8.3 - Análise de estabilidade para a situação com talude imerso – AC1-C1 (esquerda) e AC2-C2 (direita)

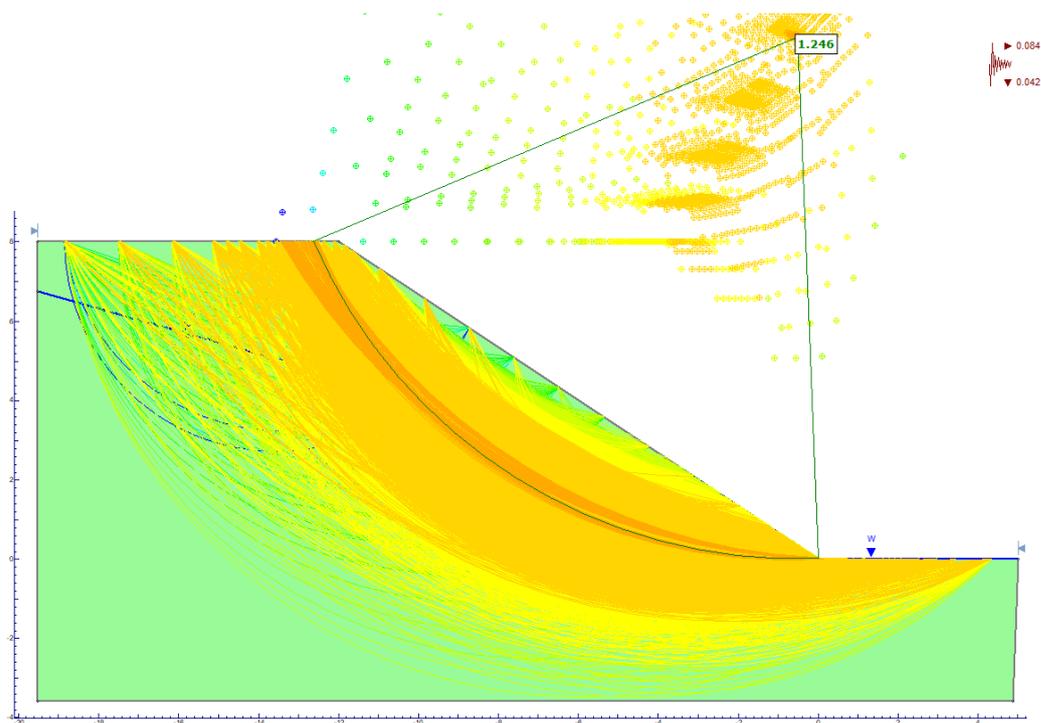


Figura 8.4- Análise de estabilidade para a situação pseudo-estática

Resulta então que os taludes com inclinação 1V/1,5H são estáveis para os materiais dos horizontes ZG4 e ZG5.

### 8.1.2.3 Taludes de escavação em ZG1, ZG2 e ZG3

No caso dos taludes que intercetam os horizontes de rocha mais competente (ZG3, ZG2 e ZG1) foi efetuada uma análise cinemática para os diversos taludes para avaliação do potencial de instabilização e do tipo de fenómenos de instabilidade passíveis de ocorrer. Posteriormente, fizeram-se cálculos de estabilidade para verificação dos coeficientes de segurança associados a cada talude, após escavação, experimentando-se várias geometrias até atingir a que apresenta comportamento adequado. Apresenta-se, neste projeto, apenas os cálculos de segurança feitos para a geometria final adotada.

#### 8.1.2.3.1 Análises cinemáticas

Nas figuras seguintes apresentam-se os resultados das análises cinemáticas realizadas para os taludes do descarregador de cheias, torre de manobra e descarga de fundo, acesso à barragem do lado direito e acesso do lado esquerdo, nos taludes de altura mais significativa, tendo em conta as atitudes das famílias de diaclases existentes em cada local e apresentadas no Estudo Geológico-Geotécnico.

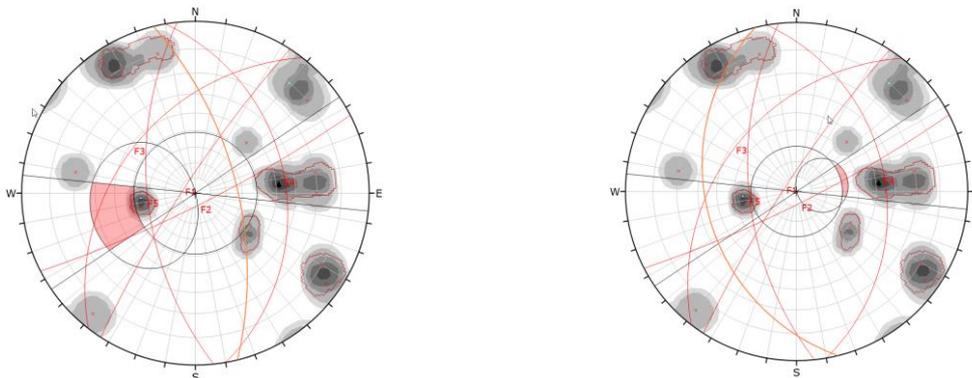


Figura 8.5 – Análise cinemática – taludes canal de entrada do descarregador cheias (esquerdo e direito) – Roturas planares

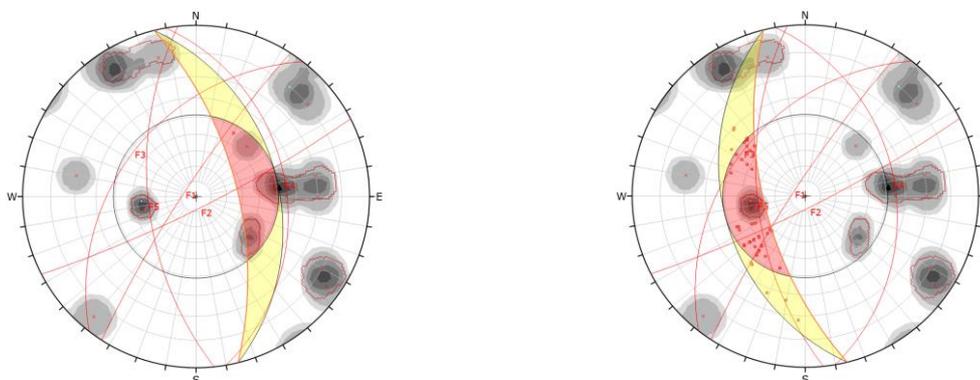
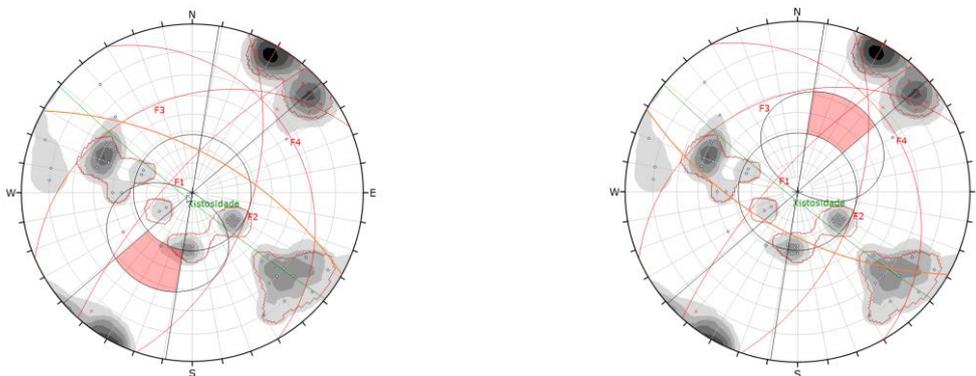
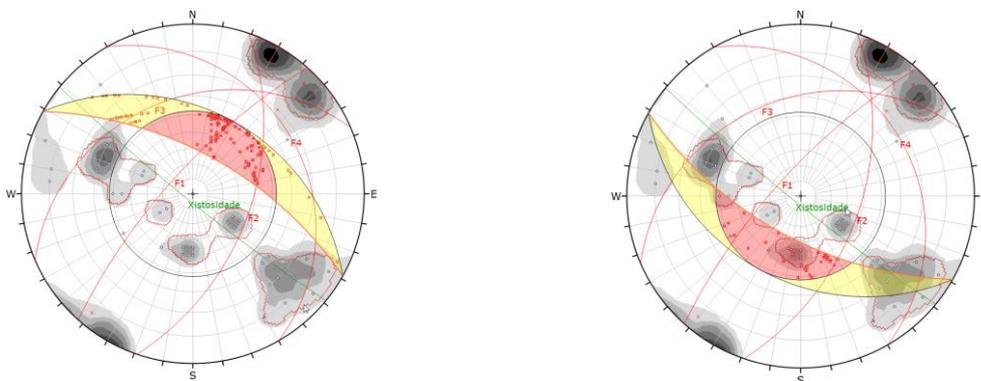


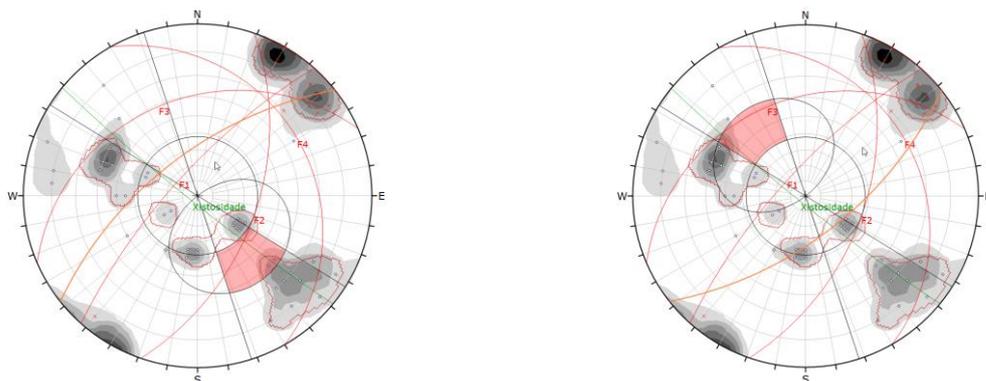
Figura 8.6– Análise cinemática – taludes canal de entrada do descarregador cheias (esquerdo e direito) – Roturas por cunha



**Figura 8.7 – Análise cinemática – taludes descarga de fundo (esquerdo e direito) – Roturas planares**



**Figura 8.8 – Análise cinemática – taludes descarga de fundo (esquerdo e direito) – Roturas por cunha**



**Figura 8.9 – Análise cinemática – taludes acesso direito (esquerdo e direito) – Roturas planares**

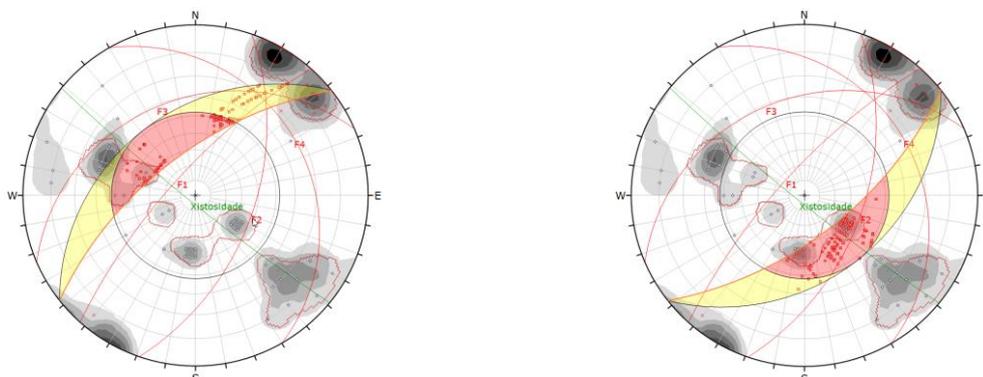


Figura 8.10 – Análise cinemática – taludes acesso direito (esquerdo e direito) – Roturas por cunha

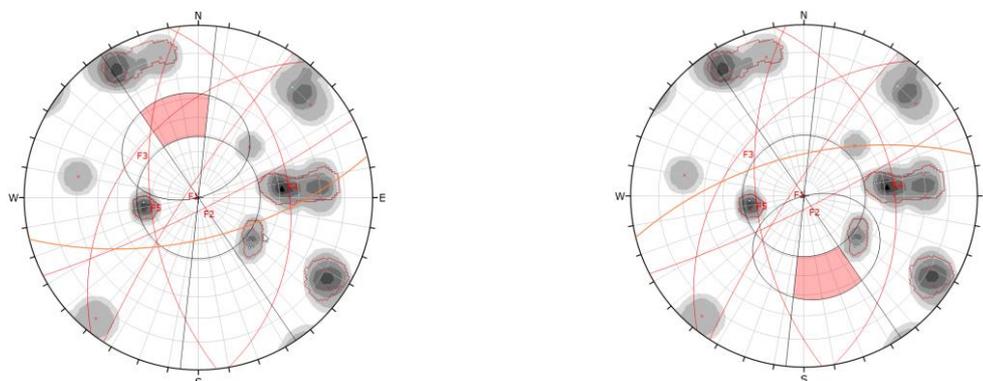


Figura 8.11 – Análise cinemática – taludes acesso esquerdo (esquerdo e direito) – Roturas planares

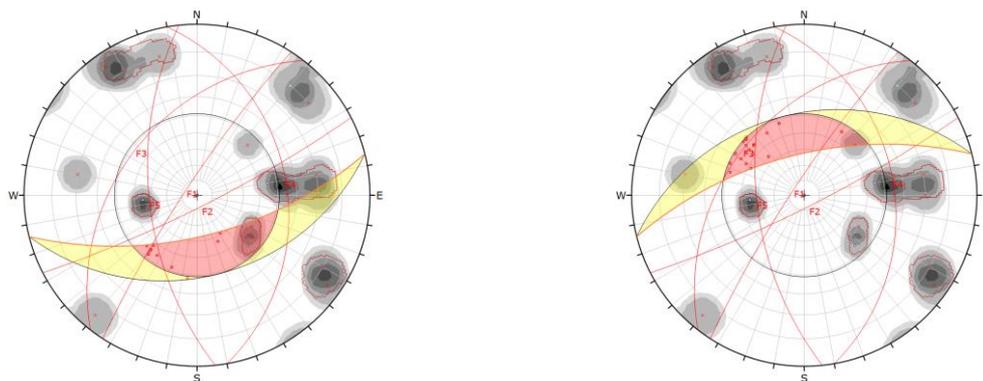


Figura 8.12 – Análise cinemática – taludes acesso esquerdo (esquerdo e direito) – Roturas por cunha

Os mecanismos de rotura identificados foram os que são apresentados na tabela seguinte.

**Tabela 8-3 – Mecanismos de rotura nos taludes de escavação em rocha**

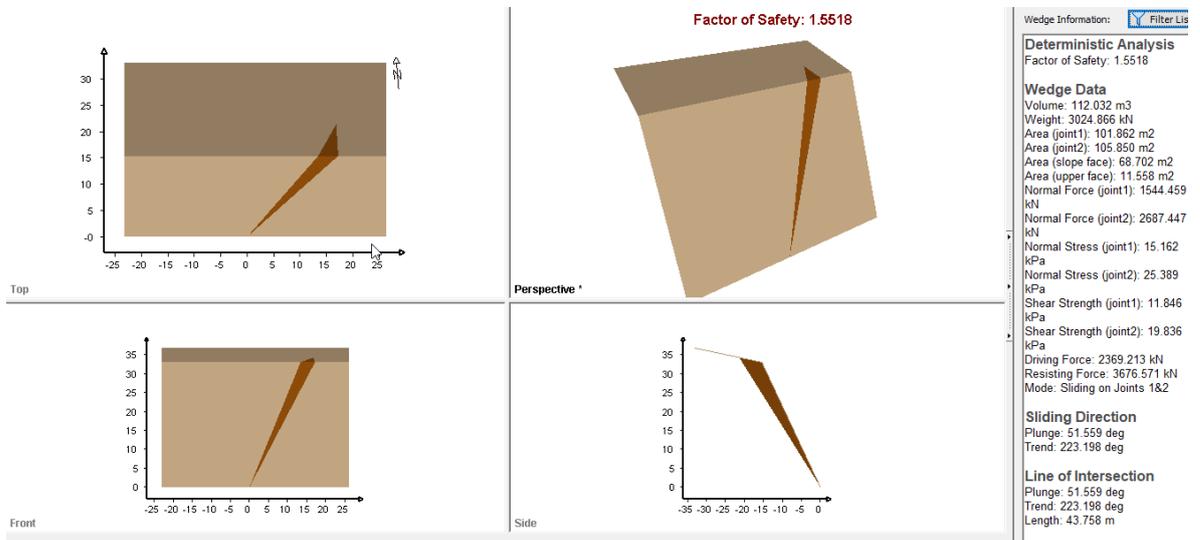
	<b>Rotura planar</b>	<b>Rotura por cunha</b>
Talude esquerdo do canal de entrada do descarregador de cheias	-	-
Talude direito do canal de entrada do descarregador de cheias	-	Pela interseção das famílias F1/F5, F2/F5, F1/F2
Talude esquerdo da descarga de fundo	Família F3	Pela interseção das famílias F1/F3
Talude direito da descarga de fundo	-	-
Talude esquerdo do caminho de acesso do lado esquerdo da barragem	-	-
Talude direito do caminho de acesso do lado esquerdo da barragem	-	Pela interseção das famílias F3/F5
Talude esquerdo do caminho de acesso do lado direito da barragem	-	-
Talude direito do caminho de acesso do lado direito da barragem	F2	Pela interseção das famílias Xistosidade/F2

#### **8.1.2.3.2 Avaliação da estabilidade dos taludes**

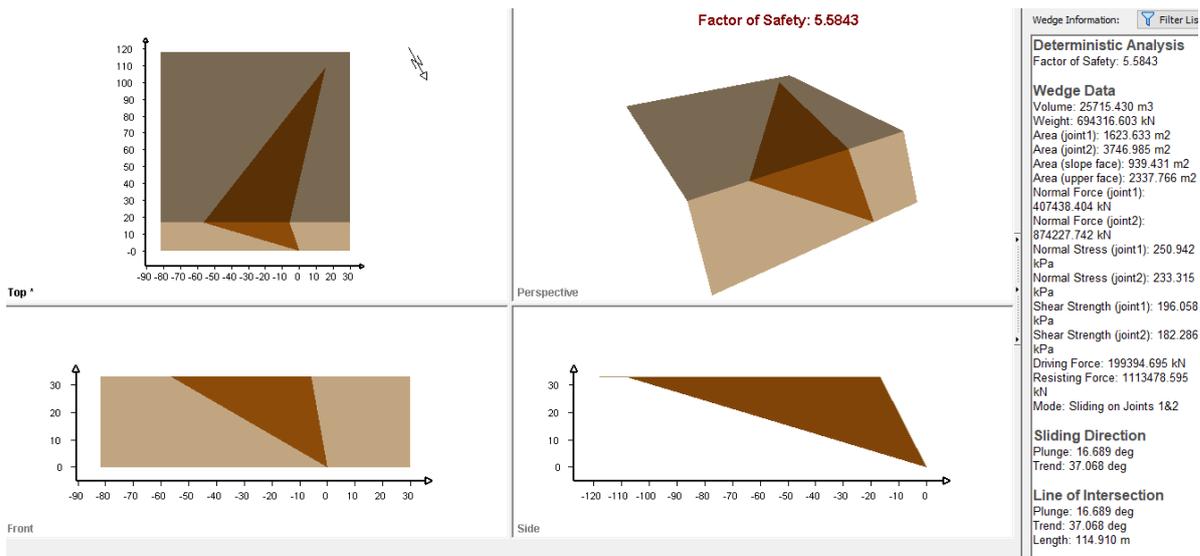
Após terem sido identificados os taludes com mecanismos de rotura global cinematicamente admissíveis (rotura planar ou por cunha), procedeu-se à avaliação da estabilidade global dos mesmos para a geometria de escavação escolhida, por forma a validar a mesma.

A verificação da estabilidade global do talude foi realizada seguindo a metodologia tradicional (fatores de segurança globais) tanto para o cenário estático como para o cenário sísmico.

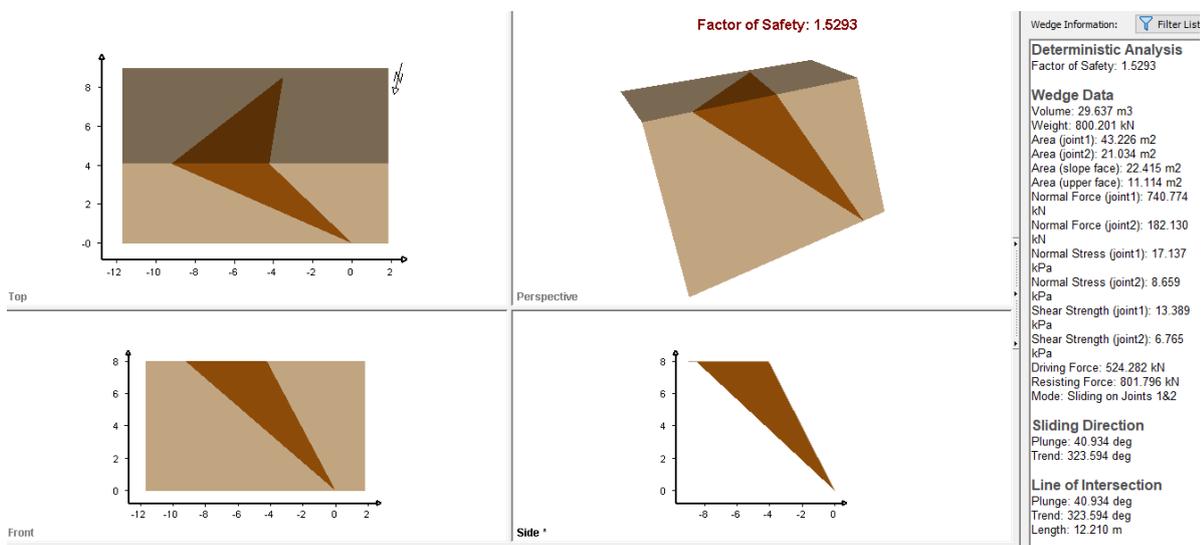
A verificação da estabilidade global do talude foi realizada com base nas características geométricas dos taludes e da resistência ao corte das diaclases. Para a análise das possíveis cunhas utilizou-se os programas de cálculo automático ROCPLANE (roturas planares) e SWEDGE (roturas por cunha devido à interseção de planos desfavoráveis), cujos resultados são apresentados nas figuras seguintes.



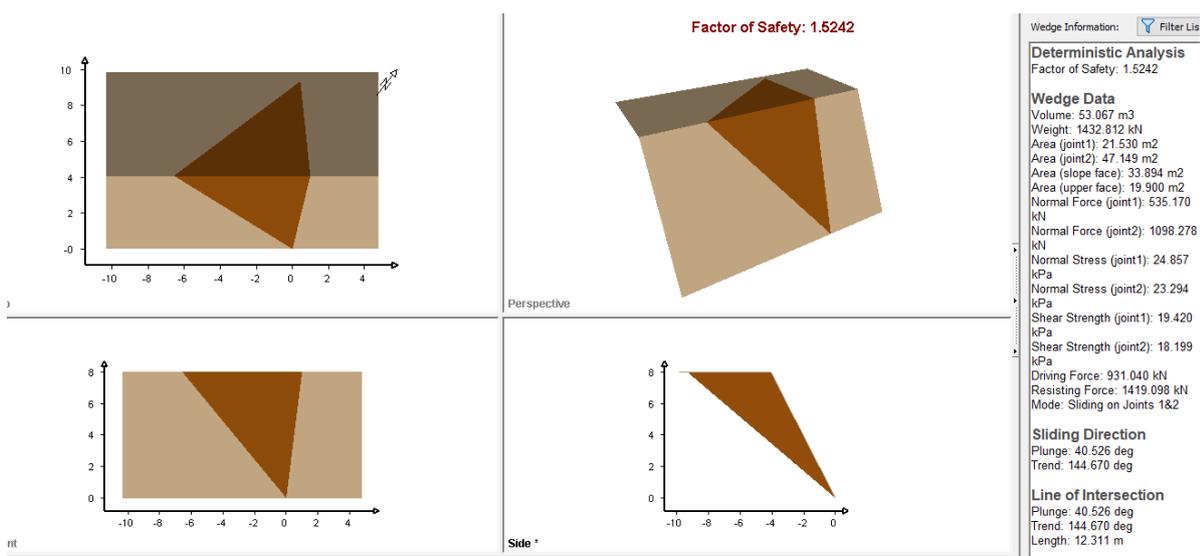
**Figura 8.13 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude direito do canal de entrada do descarregador de cheias**



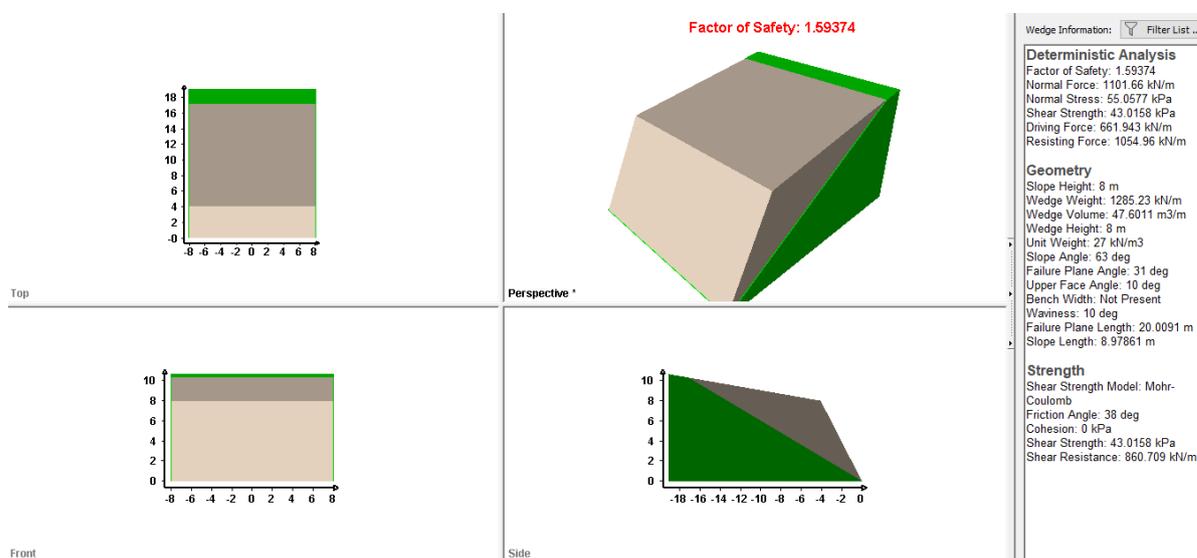
**Figura 8.14 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude esquerdo da descarga de fundo**



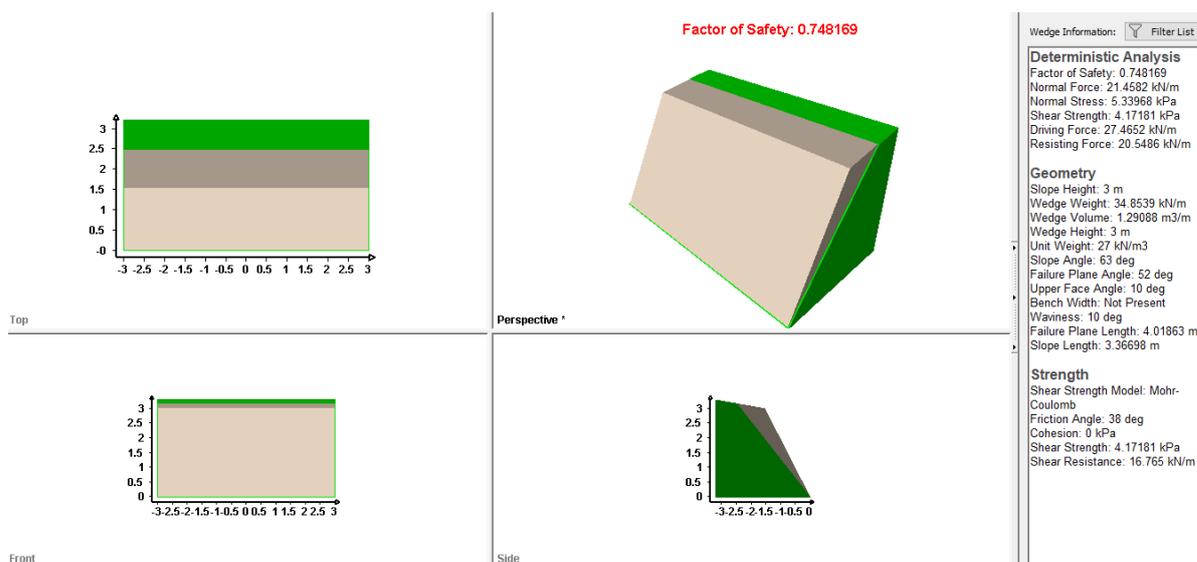
**Figura 8.15 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude direito do caminho de acesso do lado esquerdo da barragem**



**Figura 8.16 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura por cunha – Talude direito do caminho de acesso do lado direito da barragem**



**Figura 8.17 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura planar – Talude esquerdo da descarga de fundo**



**Figura 8.18 - Avaliação da estabilidade ao fenómeno de rotura planar – Talude direito do caminho de acesso do lado direito da barragem**

Verifica-se que, na generalidade, as geometrias dos taludes adotadas são estáveis. Excetua-se uma zona pontual do talude direito do caminho de acesso direito (Figura 8.18) onde as eventuais cunhas planares que se possam formar são de dimensões bastante reduzidas ( $\approx 1,00\text{m}$ ), podendo ser alvo de um saneamento fácil após escavação.

---

#### **8.1.2.4 Banquetas**

Nas diversas escavações provisórias e definitivas foram introduzidas banquetas de dimensões distintas que têm o objetivo de diminuir a inclinação média do talude e de servir como plataforma de retenção para a queda de eventuais blocos de dimensões reduzidas (até cerca de 1,0 m), sem que estas atinjam os níveis mais baixos da escavação, para proteção de pessoas e bens existentes nesses níveis inferiores, por exemplo durante as operações de execução das estruturas em betão armado e aterros.

Para isso, acrescentou-se em alguns casos identificados nos desenhos uma pendente de 20% no sentido contrário ao declive do talude, por forma a aumentar a capacidade de diminuição da energia de queda do eventual bloco deslizante e de reter o mesmo a esse nível.

#### **8.1.2.5 Disposições construtivas para as escavações**

As escavações deverão ser executadas com os cuidados necessários para limitar o mais possível a fracturação do maciço para além das linhas teóricas de corte. Nos níveis em que for necessário o uso de explosivos, deverão adotar-se técnicas de pré-corte ou “smooth-blasting”, com uma adequada temporização das linhas de fogo que minimizem as vibrações e a projeção de fragmentos rochosos, garantido a integridade de todas as infraestruturas adjacentes, assim como a minimização da perturbação do maciço escavado.

Após todas as escavações, e sobretudo após as escavações com explosivos, deverá ser feito um cuidado descombramento e saneamento de toda a face dos taludes, por forma a remover todos os blocos soltos, ou em risco de cair.

### **8.1.3 Materiais de Construção da Barragem**

#### **8.1.3.1 Núcleo**

O núcleo da barragem será constituído por solos argilosos de alteração dos gnaisses migmatíticos e dos calcários e dolomitos cristalinos, provenientes das manchas E3, E3e e E3f, conforme justificado no Volume 1 – Tomo 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos.

Dos solos disponíveis nestas manchas de empréstimo deverão ser selecionados os que apresentem um valor do índice de plasticidade maior ou igual que 8%, com uma percentagem de finos maior ou igual que 30% e que se enquadrem no seguinte fuso granulométrico:

$$0,05 \leq D_{50} \leq 3,00 \quad [\text{mm}]$$

$$2,50 \leq D_{85} \leq 16,00 \quad [\text{mm}]$$

$$9,00 \leq D_{100} \leq 37,50 \quad [\text{mm}]$$

Para garantir um adequado controlo da percolação ao longo do contacto do aterro com a fundação, o núcleo será prolongado na fundação através duma vala corta-águas que terá de ultrapassar a zona superior do maciço rochoso do horizonte geotécnico ZG4, ficando encastrada neste horizonte em 1,00 m (Desenho 2107), tendo os taludes uma inclinação de 1V/1H.

Os solos a utilizar no núcleo têm a designação de material 1.

A espessura das camadas a realizar, assim como a energia de compactação a utilizar deverá ser devidamente aferida em obra através da realização de um aterro experimental sobre este material.

O grau de compactação ou compactação relativa (relação entre o peso específico seco pretendido e obtido no ensaio de compactação leve para o teor em água médio de compactação) deverá ser maior ou igual que 98% com um desvio padrão inferior a 3%.

#### **8.1.3.2 Maciços Estabilizadores de Montante e de Jusante**

Os maciços estabilizadores de montante e de jusante serão realizados com misturas de solo-enrocamento, provenientes da exploração de xistos ripáveis ocorrentes no interior da albufeira, com um maciço de transição, a montante, em saibros graníticos ocorrentes também no interior da albufeira.

Este maciço de transição pretende proporcionar um acréscimo de impermeabilização ao corpo da barragem, tendo em conta o carater um pouco menos plástico e impermeável que o normal do material do núcleo. Por outro lado, pelas suas características granulométricas poderá desempenhar funções de filtro entre o núcleo e os solo-enrocamentos de montante em caso de esvaziamento da albufeira.

Assim, os materiais do maciço de transição em saibros graníticos, designados por material 2, deverão enquadrar-se no seguinte fuso granulométrico:

$$0,22 \leq D_{30} \leq 2,20 \quad [\text{mm}]$$

$$0,90 \leq D_{50} \leq 4,00 \quad [\text{mm}]$$

$$3,40 \leq D_{85} \leq 15,00 \quad [\text{mm}]$$

$$9,50 \leq D_{100} \leq 50,00 \quad [\text{mm}]$$

A espessura das camadas a realizar para este material, assim como a energia de compactação a utilizar também deverá ser devidamente aferida em obra através da realização de um aterro experimental sobre este material. Estes materiais poderão ser obtidos na mancha de empréstimo E4, conforme justificado no Volume 1 – Tomo 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos.

---

O grau de compactação ou compactação relativa (relação entre o peso específico seco pretendido e obtido no ensaio de compactação leve para o teor em água médio de compactação) deverá ser maior ou igual que 98% com um desvio padrão inferior a 3%.

Os materiais de solo-enrocamento constituintes dos maciços estabilizadores de montante e de jusante, designados por material 3, deverão enquadrar-se no seguinte fuso granulométrico:

$$\begin{aligned}0,08 &\leq D_{30} \leq 5,00 & [\text{mm}] \\2,20 &\leq D_{50} \leq 22,00 & [\text{mm}] \\18,00 &\leq D_{85} \leq 140,00 & [\text{mm}] \\45,00 &\leq D_{100} \leq 300,00 & [\text{mm}]\end{aligned}$$

A execução dos aterros com solo-enrocamento (material 3) deverá ser feita por camadas com uma espessura que garanta que o  $D_{\max}$  das partículas é  $\leq 2/3$  dessa espessura. A título exemplificativo, para um  $D_{\max}$  de 300 mm, a espessura da camada deverá ser de 45 cm. A espessura efetivamente adotada, assim como a energia de compactação a utilizar deverá ser devidamente aferida em obra através da realização de um aterro experimental.

O controlo dos aterros deverá ser realizado através da determinação da compactação relativa do material e de análises granulométricas.

A compactação relativa (quociente entre o peso volúmico aparente seco do material compactado e o peso volúmico aparente seco máximo do material) deverá ser maior ou igual que 98%, admitindo-se, pontualmente, um valor mínimo de 95%. Deverão garantir-se teores em água próximos do  $w_{\text{opt}}^T$  (admite-se uma variação de  $\pm 1\%$  no teor em água de colocação). Recomenda-se a utilização de cilindros com peso  $\geq 18$  toneladas, admitindo-se tonelagens diferentes se os resultados do aterro experimental comprovarem a sua eficiência.

O peso volúmico *in situ* deverá ser determinado com recurso ensaio Macro em cavidade e o peso volúmico máximo e o desvio do teor em água deverão ser determinados por aplicação do método de Hilf. Sempre que a percentagem de grossos (material retido no peneiro  $\frac{3}{4}$ " for superior a 30%, os valores do peso volúmico devem ser corrigidos através da formulação a seguir exposta. Quando a percentagem de grossos for inferior a 30%, os resultados obtidos na fração fina poderão ser considerados representativos da amostra integral.

A correção a realizar quando a percentagem de grossos for superior a 30% deverá seguir as seguintes expressões:

$$\gamma_{d,\text{máx}}^T = \frac{100}{\frac{P_C}{\gamma_d} + \frac{P_F}{\eta \cdot \gamma_{d,\text{máx}}^F}} \quad \text{e} \quad w_{\text{opt}}^T = \frac{P_F \cdot w_{\text{opt}}^F + P_C \cdot w_C}{100}$$

em que  $\gamma_{d,m\acute{a}x}^T$  é o peso volúmico seco máximo da amostra integral,  $\gamma_d^C$  é o peso volúmico seco da fração grossa da amostra,  $\gamma_{d,m\acute{a}x}^F$  é o peso volúmico seco máximo da fração fina da amostra (obtido no ensaio de compactação desta fração),  $\eta$  ( $\eta = -5 \cdot 10^{-5} \cdot P_C^2 + 0,0013 \cdot P_C + 0,9958$ ) é um coeficiente de correção,  $P_C$  é a percentagem da fração grossa da amostra,  $P_F$  é a percentagem da fração fina da amostra,  $w_{opt}^T$  é o teor em água ótimo da amostra integral,  $w_C$  é o teor em água da fração grossa da amostra e  $w_{opt}^F$  é o teor em água ótimo da fração fina da amostra (obtido no ensaio de compactação desta fração). A equação do coeficiente de correção ( $\eta$ ) é uma possível referência retirada de experiências anteriores em materiais semelhantes e a mesma deverá ser validada para os materiais efetivamente aplicados durante a obra.

Durante o processamento e preparação do material do tipo 3 na mancha de empréstimo e durante o seu espalhamento no aterro, deverá desagregar-se ao máximo o material mediante a circulação dos equipamentos sobre ele, por forma a garantir que os blocos que são colocados no aterro não sejam suscetíveis de evoluir a longo prazo, originando assentamentos no aterro.

Por outro lado, deverá limitar-se a presença de blocos de maiores dimensões (200 a 300 mm) no aterro, para não comprometer a compactação dos materiais mais finos.

Durante a realização do aterro experimental para este material, além da aferição da espessura das camadas e da energia de compactação, deverá igualmente fazer-se um controlo da evolução granulométrica dos materiais com recolha de uma amostra antes do espalhamento e outra após a compactação de cada camada, e execução de análise granulométrica. Pretende-se assim que se perceba e afira qual a intensidade e recorrência das operações de desagregação para que o material encaixe no fuso granulométrico pretendido. Este procedimento deverá ser repetido na fase de construção do aterro com estes materiais quando houver variação das características granulométricas ou resistentes do material explorado.

### **8.1.3.3 Sistema de Drenagem Interna**

#### **8.1.3.3.1 Definição geral**

O sistema de drenagem interna da barragem foi concebido de modo a conseguir o adequado controlo e evacuação dos caudais percolados através do aterro da barragem, garantindo que não haja migração de partículas a partir do núcleo para os materiais adjacentes, assim como um comportamento adequado para a colmatação de uma eventual ocorrência de fendas no núcleo, que poderão resultar de assentamentos diferenciais ocorridos durante a fase de

---

construção, ou pelo enchimento/esvaziamento da albufera, ou ainda devido a deformações induzidas por ações sísmicas.

O sistema de drenagem interna é constituído por um filtro chaminé com 3 m de largura na horizontal, colocado imediatamente a jusante do núcleo, com a mesma inclinação deste (4V/1H) e igualmente com o seu topo à cota 250,50. O filtro chaminé, constituído por material designado F2, será prolongado para jusante, total ou parcialmente, a partir da sua base através de um tapete drenante. Investigou-se a necessidade de aplicação de um filtro também a montante do núcleo, para proteção deste em caso de fluxo inverso durante um esvaziamento, tendo-se verificado que os saibros que fazem a transição para os solo-enrocamentos no maciço de montante têm uma granulometria suficiente para servir a função filtrante.

Este tapete drenante terá 3 larguras de seção transversal distintas, de acordo com o caudal expectável para cada zona da barragem, conforme representando no Desenho 2106. A seção transversal consistirá num esquema tipo “sanduiche” com uma camada drenante (material D1) com 1 m de espessura no interior, envolvido por duas camadas filtrantes, uma inferior com material F2, e a outra superior com material F3, ambas com 0,5 m de espessura. A camada superior terá funções de retenção de partículas em relação ao material de solo-enrocamento que lhe ficará sobreposto.

Tendo em conta a morfologia irregular do vale, sobretudo na margem direita, o prolongamento do tapete drenante para jusante e respetiva condução das águas percoladas para o exterior da barragem obriga à introdução de 7 saídas, localizadas nos pontos baixos da fundação da barragem, conforme representado no Desenho 2105.

Relativamente às 7 saídas do tapete, as mesmas deverão ser materializadas, como critério geral, sobre a rocha de fundação, ou seja, sobre a superfície de saneamento da barragem. No entanto, em casos em que as irregularidades dessa superfície impliquem a existência localizada de saliências que constituam um obstáculo à percolação ou de zonas mais baixas que constituam zonas de empoçamento relevantes, deverá proceder-se ao reperfilamento dessas saliências ou ao preenchimento com material argiloso das depressões, por forma a garantir as pendentes médias aproximadas indicadas no Desenho 2105. No caso em que existam depressões na superfície de saneamento cujas dimensões impossibilitem a boa compactação dos materiais argilosos, deverá proceder-se ao seu preenchimento com betão pobre da classe de resistência C16/20.

No caso da saída 7, localizada no fundo do vale, foi já identificada em projeto a necessidade de um enchimento para garantir pendente de escoamento, representada nos desenhos 2107 e 2108. Esse enchimento será feito em betão da classe de resistência C16/20 até à cota 200,50 e em material argiloso daí para cima. Transversalmente, a materialização desta saída

implicará ainda algum reperfilamento nos bordos para inserção nas vertentes da margem esquerda e direita.

Nas saídas 4 e 6 foi identificada a necessidade de reperfilamento de um troço com 15m e 30m, respetivamente, até profundidades da ordem dos 0,80-1,00m. Nos outros casos, essa necessidade decorrerá de uma avaliação que só é possível fazer-se em fase de obra, caso a caso, uma vez que depende da real posição da rocha de fundação após as operações de saneamento a realizar.

A monitorização dos caudais percolados será efetuada através de medidores de caudal colocados em cada saída, que se encontram definidos mais adiante e também no Volume 2 – Tomo 4 – Plano de Observação e Primeiro Enchimento. Por forma a encaminhar as águas para os medidores de caudais, no final de cada saída do tapete será instalada uma caleira de recolha das águas, conforme discriminado no Desenho 2106.

As dimensões dos elementos que compõem o sistema drenante foram definidas com base na capacidade de vazão necessária face às percolações espectáveis, justificadas no Volume 1 – Tomo 5, e em aspetos de ordem executiva, nomeadamente de colocação e espalhamento dos materiais.

As dimensões do sistema de drenagem interna estão indicadas no Desenho 2106 e são, sucintamente, as seguintes:

- Largura do filtro-chaminé (H): 3,00 m
- Espessura total do tapete drenante (V): 2,00 m;
- Larguras do tapete drenante (H): 5,50 m, 8,00 m e 10,50 m;
- Espessura do dreno no interior do tapete drenante (V): 1,00 m
- Inclinação longitudinal mínima do tapete drenante: 2%

#### **8.1.3.3.2 Materiais constituintes**

Os materiais a utilizar nos filtros e dreno obedecem a condições de filtro face a todos os materiais com os quais contactam, tendo-se para esse efeito recorrido à metodologia de dimensionamento definida na *Design Standard nº 13 (2011) do U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation (USBR)*, complementada com a metodologia definida no *National Engineering Handbook (Part 633, October 1994), do NRCS (Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture)*. Desta forma, o dimensionamento dos materiais obedeceu à verificação dos seguintes critérios:

- Critério de filtro (em função do tipo de solo de base a proteger, definindo o valor de  $D_{15}$  máximo do filtro);
- Critério de filtro secundário (impondo um valor de  $C_u$  máximo de 6 ao longo de todo o fuso granulométrico do filtro);

- 
- Critério de permeabilidade (definindo o valor de  $D_{15}$  mínimo do filtro);
  - Limite de finos e partículas grosseira, com determinação dos valores máximo ( $D_{100}$ ) e mínimo ( $D_5$ ) das partículas do filtro (associados à imposição de não-plasticidade para a fração de solo passada no #40). Adicionalmente, por forma a acautelar o efeito de esmagamento das partículas durante as operações de espalhamento e compactação, reduziu-se em 2% o conteúdo de finos dos filtros ( $D_5$  passou para  $D_3$ );
  - Critério de segregação (impondo uma determinada relação entre  $D_{10}$  e  $D_{90}$  do filtro);
  - Critério de prevenção de dispersão granulométrica (limitando a abertura entre o limite inferior e limite superior do fuso granulométrico do material do filtro).

Foi ainda aplicado o critério de auto-estabilidade para materiais de filtro, definido por ensaios realizados na Universidade do Colorado (1982) e segundo o qual se tem de obter um valor inferior a 5 para as seguintes relações:

$$D_{85}/D_{50}; D_{50}/D_{35}; D_{35}/D_{15}$$

De seguida, apresentam-se as principais considerações seguidas no dimensionamento dos materiais, de acordo com as metodologias atrás mencionadas, e os respetivos fusos granulométricos para os materiais do sistema de drenagem interno da barragem.

a) Material de filtro para o filtro-chaminé, a colocar a jusante do núcleo e na parte inferior do tapete drenante (designado por F2).

O solo base do filtro-chaminé é o material argiloso do núcleo com percentagem de finos ( $<0,076\text{mm}$ ) entre 30% e 54%, e com percentagem de cascalho ( $\geq 4.76\text{ mm}$ ) entre 10% e 46%, pelo que foi necessário à sua regradação para que o filtro a dimensionar cumpra o critério de retenção de finos. Considerando as curvas granulométricas regradas, a percentagem de finos varia entre cerca de 56% e 60%, respetivamente para o fuso inferior e superior, pelo que o solo de base se enquadra na Categoria 2.

Procedeu-se então às construções granulométricas definidas em UBSR, 2011, tendo-se chegado ao seguinte fuso granulométrico no qual o filtro F2 se deverá encaixar:

$$0,25 \leq D_{15} \leq 0,65 \quad [\text{mm}]$$

$$0,40 \leq D_{30} \leq 0,95 \quad [\text{mm}]$$

$$0,65 \leq D_{50} \leq 1,60 \quad [\text{mm}]$$

$$1,50 \leq D_{85} \leq 4,50 \quad [\text{mm}]$$

$$2,50 \leq D_{100} \leq 15,00 \quad [\text{mm}]$$

Este material deverá apresentar uma percentagem máxima de finos ( $< 0,076\text{mm}$ ) de 3%.

Na Tabela 8-4 apresenta-se a verificação dos critérios de filtro para o material F2.

**Tabela 8-4 – Verificação dos critérios de filtro para o material F2**

Critério/Passo de verificação	Considerando o limite inferior do fuso do solo base		Considerando o limite superior do fuso do solo base	
	Valor a cumprir	Cumpre?	Valor a cumprir	Cumpre?
<b>Solo Base</b>				
Necessário regraduação do Solo Base?	Sim		Sim	
% finos do Solo Base após regraduação	60%		56%	
Categoria do Solo Base	2		2	
<b>Caraterísticas que Material filtrante deve ter</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>
D <sub>15</sub> máximo do material filtrante	< 0,7 mm	Cumpre	< 0,7 mm	Cumpre
C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	≤ 6	Cumpre	≤ 6	Cumpre
D <sub>15</sub> mínimo do material filtrante	≥ 0,1 mm	Cumpre	≥ 0,1 mm	Cumpre
D <sub>100</sub> do material filtrante	≤ 51 mm	Cumpre	≤ 51 mm	Cumpre
D <sub>3</sub> do material filtrante	≥ 0,076 mm	Cumpre	≥ 0,076 mm	Cumpre
D <sub>90</sub>	≤ 20 mm	Cumpre	≤ 20 mm	Cumpre
D <sub>85</sub> /D <sub>50</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>50</sub> /D <sub>35</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>35</sub> /D <sub>15</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre

- b) Material de filtro para o topo do tapete drenante e topo do dreno de pé em enrocamento, no contacto com os solos-enrocamentos (designado por F3):

O solo base para este filtro são os materiais do tipo solo-enrocamento do maciço de jusante (Material 3), com percentagem de finos (<0,076mm) entre 0 e 30% e com percentagem de cascalho (≥ 4.76 mm) entre 35% e 62%, pelo que foi necessário à sua regraduação para que o filtro a dimensionar cumpra o critério de retenção de finos. Considerando as curvas granulométricas regraduadas, a percentagem de finos varia entre cerca de 0% e 46%, respetivamente para o fuso inferior e superior, pelo que o solo de base se enquadra nas Categorias 2, 3 e 4.

Procedeu-se então às construções granulométricas definidas em UBSR, 2011, tendo-se chegado ao seguinte fuso granulométrico no qual o filtro F3 se deverá encaixar:

$$0,36 \leq D_{15} \leq 0,69 \quad [\text{mm}]$$

$$0,52 \leq D_{30} \leq 1,10 \quad [\text{mm}]$$

$$0,80 \leq D_{50} \leq 1,80 \quad [\text{mm}]$$

$$1,70 \leq D_{85} \leq 4,00 \quad [\text{mm}]$$

$$3,00 \leq D_{100} \leq 15,00 \quad [\text{mm}]$$

Este material deverá apresentar uma percentagem máxima de finos (< 0,076mm) de 3%.

Na Tabela 8-5 apresenta-se a verificação dos critérios de filtro para o material F3.

**Tabela 8-5 – Verificação dos critérios de filtro para o material F3**

<b>Critério/Passo de verificação</b>	<b>Considerando o limite inferior do fuso do solo base</b>		<b>Considerando fuso “intermédio” do solo base</b>		<b>Considerando o limite superior do fuso do solo base</b>	
<b>Solo Base</b>						
Necessário regraduação do Solo Base?	Sim		Sim		Sim	
% finos do Solo Base após regraduação	46%		15%		0%	
Categoria do Solo Base	2		3		4	
<b>Caraterísticas que Material filtrante deve ter</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>
D <sub>15</sub> máximo do material filtrante	< 0,7 mm	Cumpre	< 12 mm	Cumpre	< 14 mm mm	Cumpre
C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	≤ 6	Cumpre	≤ 6	Cumpre	≤ 6	Cumpre
D <sub>15</sub> mínimo do material filtrante	≥ 0,1 mm	Cumpre	≥ 0,1 mm	Cumpre	≥ 2 mm	Não Cumpre (*)
D <sub>100</sub> do material filtrante	≤ 51 mm	Cumpre	≤ 51 mm	Cumpre	≤ 51 mm	Cumpre
D <sub>3</sub> do material filtrante	≥ 0,076 mm	Cumpre	≥ 0,076 mm	Cumpre	≥ 0,076 mm	Cumpre
D <sub>90</sub>	≤ 20 mm	Cumpre	≤ 20 mm	Cumpre	≤ 20 mm	Cumpre
D <sub>85</sub> /D <sub>50</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>50</sub> /D <sub>35</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>35</sub> /D <sub>15</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre

(\*) Dada a muito extensa granulometria do material de base (material 3) resultou inviável garantir que o critério de D<sub>15</sub> máximo seja compatível com o D<sub>15</sub> mínimo, tendo-se optado por garantir que o material F3 faz uma correta retenção dos finos do material 3.

c) Material drenante do tapete (designado por D1).

O solo de base para este material são os filtros F2 e F3. Os materiais F2 têm uma percentagem de finos (<0,076mm) inferiores a 3%, mas apresentam cascalho e têm Cu < 6 e Cz < 1, pelo que foi necessário à sua regraduação para que o filtro a dimensionar cumpra o critério de retenção de finos. O mesmo se aplica aos materiais F3. Após regraduação, os materiais F2 e F3 enquadram-se na Categoria 4.

Procedeu-se então às construções granulométricas definidas em UBSR, 2011, tendo-se chegado ao seguinte fuso granulométrico no qual o material D1 se deverá encaixar:

$$3,20 \leq D_{15} \leq 5,40 \text{ [mm]}$$

$$4,20 \leq D_{30} \leq 6,20 \text{ [mm]}$$

$$5,20 \leq D_{50} \leq 8,00 \text{ [mm]}$$

$$8,00 \leq D_{85} \leq 13,00 \text{ [mm]}$$

$$10,00 \leq D_{100} \leq 20,00 \text{ [mm]}$$

Este material deverá apresentar uma percentagem máxima de finos (< 0,076mm) de 3%.

Na Tabela 8-6 e na

Tabela 8-7 apresenta-se a verificação dos critérios de filtro para o material D1, considerando como solo base o material F3 e F2, respetivamente.

**Tabela 8-6 – Verificação dos critérios de filtro para o material D1 relativamente ao solo de base F3**

Critério/Passo de verificação	Considerando o limite inferior do fuso do solo base		Considerando o limite superior do fuso do solo base	
	Valor a cumprir	Cumpre?	Valor a cumprir	Cumpre?
<b>Solo Base</b>				
Necessário regraduação do Solo Base?	Sim		Sim	
% finos do Solo Base após regraduação	0%		0%	
Categoria do Solo Base	4		4	
<b>Caraterísticas que Material filtrante deve ter</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>
D <sub>15</sub> máximo do material filtrante	7,2 mm	Cumpre	12,8 mm	Cumpre
$C_u = D_{60}/D_{10}$	≤ 6	Cumpre	≤ 6	Cumpre
D <sub>15</sub> mínimo do material filtrante	1,75 mm	Cumpre	3,20 mm	Cumpre
D <sub>100</sub> do material filtrante	≤ 51 mm	Cumpre	≤ 51 mm	Cumpre
D <sub>3</sub> do material filtrante	≥ 0,076 mm	Cumpre	≥ 0,076 mm	Cumpre
D <sub>90</sub>	≤ 40 mm	Cumpre	≤ 40 mm	Cumpre
D <sub>85</sub> /D <sub>50</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>50</sub> /D <sub>35</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>35</sub> /D <sub>15</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre

**Tabela 8-7 – Verificação dos critérios de filtro para o material D1 relativamente ao solo de base F2**

Critério/Passo de verificação	Considerando o limite inferior do fuso do solo base		Considerando o limite superior do fuso do solo base	
	Valor a cumprir	Cumpre?	Valor a cumprir	Cumpre?
<b>Solo Base</b>				
Necessário regraduação do Solo Base?	Sim		Sim	
% finos do Solo Base após regraduação	0%		0%	
Categoria do Solo Base	4		4	
<b>Caraterísticas que Material filtrante deve ter</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>	<b>Valor a cumprir</b>	<b>Cumpre?</b>
D <sub>15</sub> máximo do material filtrante	6,4 mm	Cumpre	12,8 mm	Cumpre
$C_u = D_{60}/D_{10}$	≤ 6	Cumpre	≤ 6	Cumpre

Critério/Passo de verificação	Considerando o limite inferior do fuso do solo base		Considerando o limite superior do fuso do solo base	
D <sub>15</sub> mínimo do material filtrante	1,0 mm	Cumpre	2,0 mm	Cumpre
D <sub>100</sub> do material filtrante	≤ 51 mm	Cumpre	≤ 51 mm	Cumpre
D <sub>3</sub> do material filtrante	≥ 0,076 mm	Cumpre	≥ 0,076 mm	Cumpre
D <sub>90</sub>	≤ 40 mm	Cumpre	≤ 40 mm	Cumpre
D <sub>85</sub> /D <sub>50</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>50</sub> /D <sub>35</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre
D <sub>35</sub> /D <sub>15</sub>	< 5	Cumpre	< 5	Cumpre

No caso dos materiais de filtro F2 e F3, que consistem numa areia, não se verificou a sua existência em areiros da zona, sendo que, em fase de projeto, só foram identificados areiros situados em lugares mais remotos, por exemplo, na bacia do Tejo, a distâncias que poderão ser superiores a 100 km. Face à importância do funcionamento adequado dos elementos constituídos por estes dois materiais, considera-se que deverão ser diligenciados todos os esforços para procurar que este material seja proveniente de areiros, mesmo a distâncias dessa ordem de grandeza, pelo que os preços da empreitada deverão ter em conta essa eventualidade.

No caso dos materiais drenantes D1, os mesmos poderão ser obtidos em obra a partir de materiais a obter em pedreiras a abrir no interior da albufeira, ou em pedreiras existentes nas proximidades da barragem. Alguns dos materiais de filtragem e drenagem têm características granulométricas compatíveis com alguns materiais britados existentes em pedreiras da região, apesar de poder ser necessário, em alguns casos, alguma correção dos fusos de exploração para o material se enquadrar no fuso de projeto.

Em qualquer dos casos, será sempre necessário garantir o cumprimento rigoroso dos fusos granulométricos definidos, podendo ser necessárias operações adicionais de correção granulométrica como, por exemplo, lavagem de finos, crivagem, etc.

Os materiais do filtro e de dreno deverão ser colocados em camadas com o máximo de 0,40m de espessura e de forma sequencial às camadas adjacentes (núcleo e maciço estabilizador). A colocação destes materiais, sobretudo no caso do filtro chaminé, deve ser sempre mantida mais alta do que o aterro adjacente de solos com finos, quer do lado do núcleo, quer do lado do maciço estabilizador, para evitar que eventuais escorrimientos superficiais arrastem finos para os materiais drenantes. Essa diferença de altura deverá ser de pelo menos uma camada do lado do maciço estabilizador e de duas camadas do lado do núcleo.

Os materiais deverão ser compactados com cilindros vibradores, com uma compacidade relativa desejável de 70%, podendo aceitar-se um valor mínimo de 60%. Não deverão aplicar-

se níveis de compactação superiores a 70%, por forma a evitar potenciais efeitos de esmagamento das partículas e de excesso de rigidez nestes materiais.

### **8.1.3.3 Verificação da capacidade de evacuação do tapete drenante**

Para a verificação da capacidade de evacuação do tapete drenante recorreu-se à lei de Darcy, segundo a qual se determina o caudal de escoamento do tapete drenante ( $Q_f$ ) em função do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) do material que o constitui, do gradiente hidráulico ( $i = \Delta H/L$ ) e da secção de escoamento ( $A$ ):

$$Q_f = k_f \cdot i \cdot A$$

Em que:

- $Q_f$ : caudal de escoamento do tapete drenante
- $k_f$ : coeficiente de permeabilidade do material do dreno do tapete drenante
- $i = (h_1 - h_2)/L$ : gradiente hidráulico
- $A$ : Seção de vazão

Conforme atrás mencionado, o tapete drenante tem 3 seções distintas, correspondentes a 3 larguras médias de 5,50 m (Área = 5,50m<sup>2</sup>), 8,00 m (Área = 8,00m<sup>2</sup>) e 10,50 m (Área = 10,50m<sup>2</sup>). Além disso, e também conforme já mencionado, possui 7 saídas para condução das águas percoladas para o exterior da barragem e, assim, 7 troços em termos de desenvolvimento longitudinal.

Para cada um destes troços e para cada uma das saídas foi então verificada a capacidade de vazão do tapete drenante, tendo em conta a permeabilidade do material D1 que o constitui e os respetivos caudais que afluem por percolação através do aterro, determinados no Volume 1 – Tomo 5. Nas zonas onde não existe perfil de cálculo, os caudais percolados foram obtidos por extrapolação, utilizando os diferenciais carga hidráulica. Foram também consideradas as pendentes médias longitudinais que o tapete terá em cada troço.

O coeficiente de permeabilidade do material D1 ( $k_f$ ) foi avaliado com base na expressão de Sherard et al. (1984):

$$k_f = 0,35 \times (D_{15})^2$$

Tendo em conta o material utilizado, cuja distribuição granulométrica se apresenta no capítulo anterior, o coeficiente de permeabilidade do material do dreno do tapete drenante ( $k_f$ ) será da ordem dos 3x10<sup>-1</sup> m/s.

Na Tabela 8-8 apresenta-se o resultado da verificação da capacidade de vazão do tapete drenante para cada seção desse tapete e para o respetivo troço de influência dessa seção, assim como para a saída correspondente.

**Tabela 8-8 – Verificação da capacidade de vazão do tapete drenante**

Troço (km)	Caudal percolado afluente ao tapete - por metro de barragem (m <sup>3</sup> /s/m)	Caudal percolado afluente ao tapete – em cada troço (m <sup>3</sup> /s)	Área do tapete (m <sup>2</sup> )	Gradiente hidráulico	Caudal correspondente à capacidade de vazão do tapete (m <sup>3</sup> /s)	Relação entre a capacidade de vazão do tapete e o caudal afluente
0+075/0+225	2,06E-06	3,10E-04	5,50	0,024	3.96E-02	128
0+225/0+284	2,44E-06	1,44E-04	5,50	0,049	8.11E-02	563
0+284/0+447	6,72E-06	1,10E-03	8,00	0,112	2.69E-01	246
0+447/0+570	6,57E-06	8,08E-04	8,00	0,093	2.22E-01	275
0+570/0+778	7,12E-06	1,48E-03	8,00	0,075	1.79E-01	121
0+778/0+846	5,74E-06	3,90E-04	8,00	0,107	2.57E-01	659
0+846/1+350	7,79E-06	3,93E-03	10,50	0,140	4.41E-01	103
Saída 1	-	3,10E-04	6,00	0,046	8,24E-02	266
Saída 2	-	1,44E-04	6,00	0,129	2,32E-01	1612
Saída 3	-	1,10E-03	8,50	0,044	1,12E-01	102
Saída 4	-	8,08E-04	8,50	0,039	9,92E-02	123
Saída 5	-	1,48E-03	8,50	0,059	1,50E-01	102
Saída 6	-	3,90E-04	8,50	0,029	7,47E-02	192
Saída 7	-	3,93E-03	67,70	0,020	4,06E-01	103

Conforme se pode verificar do quadro anterior, o tapete drenante tem uma capacidade de escoar caudais mais de 100 x superior aos caudais afluentes, pelo que se considera garantida a sua capacidade de vazão, servindo a margem de segurança obtida para acomodar alguma variação das condições reais de permeabilidade dos diversos materiais.

#### **8.1.3.3.4 Dimensionamento do medidor de caudais**

Para controlo da medição dos caudais percolados foi prevista a instalação de caixas de medição à saída das valas de recolha instaladas em cada saída do tapete drenante, com as dimensões indicadas no Desenho 2106. A medição poderá ser feita à saída do tubo de queda ou, para caudais maiores, através do dispositivo V-Notch e respetiva escala limnimétrica e sensor de nível instalados no interior da caixa. A escala limnimétrica deverá ter precisão milimétrica e o zero deverá ser alinhado com o nível do vértice do V-Notch.

O dispositivo V-Notch é um descarregador do tipo triangular instalado à saída das caixas de medição, que foi dimensionado de acordo com a formulação de Kindsvater-Shen indicada no Water Measurement Manual do USBR:

$$Q = 4,28 \times C \times \tan(\theta/2) \times H^{5/2} \text{ (em ft}^3\text{/s)}$$

Com:

- Q = Caudal (em ft<sup>3</sup>/s)
- C = coeficiente de descarga função de  $\theta$
- $\theta$  = ângulo do descarregador em V
- H = H<sub>1</sub> + kh (em ft)
- H<sub>1</sub> = altura do descarregador em V
- kh: coeficiente de correção em função de  $\theta$

Derivando para o sistema métrico, a equação anterior fica:

$$Q = 0,121 \times C \times \tan(\theta/2) \times (H/0,305)^{5/2} \text{ (em m}^3\text{/s)}$$

Foi adotado um  $\theta = 60^\circ$ , pelo que os valores de C e de kh são de 0,575 e 0,0011m.

Esta formulação será então a que deverá ser utilizada para avaliação do caudal percolado utilizando o V-Notch instalado em cada um dos medidores de caudais. Assim, tendo em conta as características geométricas do sistema, a expressão a utilizar reduz-se à seguinte equação:

$$Q = 0,0402 \times (H_1/305 + 0,00361)^{5/2}$$

em que Q é o caudal descarregado em m<sup>3</sup>/s e H<sub>1</sub> é altura da lâmina de água no V-Notch em milímetros (mm).

#### 8.1.3.4 Proteção do Talude de Montante

Para a proteção do talude de montante à ação erosiva das ondas e das chuvas adotou-se um revestimento com enrocamento a granel (*rip-rap*), com acabamento manual, atendendo às vantagens que apresenta, não só do ponto de vista construtivo e de economia, como também de comportamento estrutural. Sob o enrocamento, será colocada uma camada de transição para o maciço estabilizador de montante.

Tendo em conta a previsível utilização da albufeira também para abastecimento público de água, cujo nível mínimo de exploração se situa à cota 219,10, optou-se por prolongar o revestimento de proteção até um pouco abaixo dessa cota. Assim, por vantagem construtiva na colocação dos materiais, optou-se por arrancar com o revestimento a partir da cota do topo da enseadeira de montante, ou seja, a partir da cota 216,80.

---

Tendo em conta que, devido às características meandradas da albufeira, abaixo da cota 230,00 o *fetch* reduz significativamente (aproximadamente 1 km), optou-se por fazer uma otimização das dimensões do revestimento abaixo da cota 230,00.

O dimensionamento do enrocamento de proteção e da camada de transição foi efetuado de acordo com a metodologia definida na *Design Standard nº 13 (2011) do U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation (USBR)* e que transpõe as prescrições e metodologias desenvolvidas pelo *U.S. Army Corps of Engineers (USACE)*.

Para dimensionamento do enrocamento de proteção de acordo com as especificações da USBR, considerou-se uma altura da onda de cálculo (H) 1,27 vezes superior à altura significativa da onda ( $H_s$ ) produzida pelo vento, ou seja,  $H = 1,27H_s$ . De acordo com a versão de 2011 das recomendações USBR, o cálculo de  $H_s$  deverá ser feito de acordo com a seguinte expressão do USACE (2008):

$$H_s = 0,0245 F^{1/2} V (1,1+0.0156V)^{1/2}, \text{ com } H_s \text{ em (pés)}$$

Sendo F(mi) o valor do *fetch* e V(mi/h) a velocidade do vento de projeto.

Para o dimensionamento do revestimento acima da cota 230,00 foi utilizado o valor do *fetch* determinado no capítulo relativo à determinação da folga da barragem, isto é, 2,92 km. Abaixo da cota 230,00 o valor de *fetch* obtido com a mesma metodologia foi de 1,90 km.

Para o parâmetro velocidade de projeto (V) optou-se por utilizar o valor proposto por Rui Martins (2002) de 120 km/h, um pouco menos conservativo do que o utilizado para o cálculo do *fetch*.

Foi então determinado o peso médio dos blocos de enrocamento necessário para resistir à ação da onda de projeto, isto é, o  $W_{50}$  através da seguinte expressão (considerando um cenário de danos toleráveis):

$$W_{50} = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{4,37 \cdot \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cdot \cot g(\alpha)}$$

Sendo  $\gamma_r$  e  $\gamma_w$  os pesos específicos do enrocamento e da água, respetivamente, e  $\alpha$  o ângulo do talude com a horizontal.

Para o enrocamento acima da cota 230,00 foi obtido um  $W_{50} = 1,88$  kN. O diâmetro equivalente ao peso  $W_{50}$ , ou seja,  $D_{50}$ , foi determinado pela expressão:  $W_{50}/\gamma_r=0,75(D_{50})^3$  tendo-se obtido um valor de  $D_{50} \approx 0,45$  m. Abaixo da cota 230,00, obteve-se um  $W_{50} = 0,98$  kN e um  $D_{50} \approx 0,35$  m.

Para os pesos máximos e mínimos dos blocos, adotaram-se os valores de  $W_{\max} = 4W_{50}$  e  $W_{\min} = W_{50}/8$ , ou seja, 7,50 kN e 0,23 kN, acima da cota 230,00, e 3,92 kN e 0,12 kN abaixo da cota

230,00. Usaram-se depois as especificações USBR para definir o fuso granulométrico que o enrocamento de proteção deve ter para garantir a sua estabilidade e, ao mesmo tempo, a sua exequibilidade, primeiro em termos de percentagem de material para cada peso e depois convertendo esse peso para o diâmetro respetivo, em função do peso específico da rocha.

Chegou-se assim ao seguinte fuso granulométrico onde se devem encaixar os materiais do enrocamento de proteção de montante acima da cota 230,00 (material E1):

$$\begin{aligned} 580 &\leq D_{\max} \leq 680 \text{ [mm];} \\ 520 &\leq D_{85} \leq 600 \text{ [mm];} \\ 390 &\leq D_{50} \leq 480 \text{ [mm];} \\ 260 &\leq D_{30} \leq 390 \text{ [mm];} \\ 190 &\leq D_{15} \leq 280 \text{ [mm].} \end{aligned}$$

Para os materiais do enrocamento de proteção de montante abaixo da cota 230,00 (material E2) o fuso granulométrico determinado é o seguinte:

$$\begin{aligned} 470 &\leq D_{\max} \leq 530 \text{ [mm];} \\ 420 &\leq D_{85} \leq 480 \text{ [mm];} \\ 310 &\leq D_{50} \leq 390 \text{ [mm];} \\ 210 &\leq D_{30} \leq 320 \text{ [mm];} \\ 160 &\leq D_{15} \leq 230 \text{ [mm].} \end{aligned}$$

Seguindo as recomendações USBR, a espessura mínima da camada de enrocamento foi fixada em 2 vezes o valor de  $D_{50}$ , ou seja, em 0,90 m acima da cota 230,00 (material E1) e em 0,70 m abaixo da cota 230,00 (material E2), compatibilizando-se também com o  $D_{\max}$  do material, de modo que este seja menor que aproximadamente 2/3 da espessura da camada, para uma melhor colocação e acomodação dos materiais.

Entre a camada de enrocamento e o aterro da barragem será colocada uma camada de transição com 0,40 m de espessura, quer abaixo, quer acima da cota 230,00, constituída por areia cascalhenta ou material britado equivalente. Por forma a cumprir as condições de filtro e estabilidade interna definidas nas especificações USBR, esta camada será constituída por material que se encaixe no seguinte fuso granulométrico (material tipo F1):

$$\begin{aligned} 100 &\leq D_{\max} \leq 200 \text{ [mm]} \\ 60 &\leq D_{85} \leq 130 \text{ [mm];} \\ 25 &\leq D_{60} \leq 60 \text{ [mm];} \\ 7 &\leq D_{15} \leq 12,5 \text{ [mm];} \\ 6 &\leq D_{10} \leq 11 \text{ [mm].} \end{aligned}$$

---

A curva granulométrica deste material F1 foi ajustada de modo que sirva de material de transição, quer entre o enrocamento E1 e os solo-enrocamentos, quer entre o enrocamento E1 e os saibros, quer ainda entre o enrocamento E2 e os solo-enrocamentos.

Os materiais para os enrocamentos de proteção E1 e E2 e para a camada de transição F1 e F2 poderão ser obtidos em pedreiras da região ou mediante a sua produção em obra por exploração de pedreiras a abrir dentro da albufeira. Por forma a garantir um adequado desempenho e durabilidade, estes materiais terão de obedecer às seguintes especificações de qualidade:

- Grau de alteração (ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995):  $W_1$  a  $W_{2-3}$
- Resistência à compressão uniaxial  $\geq 50$  MPa
- Desgaste LA (EN 1097-2:2020)  $\leq 45\%$
- Porosidade (EN 1936:2006)  $\leq 1\%$
- Absorção de água (EN 13755:2008)  $\leq 0,50$

#### **8.1.3.5 Dreno de Pé**

O dreno de pé foi definido na zona do fundo do vale, até cerca da cota 209,00 m (Desenho 2106), de modo a melhorar as características de resistência do talude de jusante, para além de conferir um acabamento mais adequado à barragem.

O material do dreno de pé será envolvido por material F3, acima especificado, por forma a garantir condições de filtro adequadas entre este material e o solo-enrocamento.

#### **8.1.3.6 Proteção do Talude de Jusante**

Para a proteção do paramento de jusante da barragem face, essencialmente, à ação erosiva das águas, deverá ser aplicada uma camada de terra vegetal, com cerca de 0,20 m de espessura, proveniente das escavações para o saneamento das fundações e da decapagem das manchas de empréstimo, prevendo-se também a aplicação de hidrossementeira.

Nas banquetas deste talude serão também instaladas valetas em meias-canas, cujo dimensionamento está justificado no Volume 1 – Tomo 4, tendo-se adotado uma pendente transversal das banquetas de 2% e uma pendente longitudinal maior ou igual que 0,3% para encaminhamento das águas de escorrência pluvial e proteção da ação erosiva das mesmas.

#### **8.1.3.7 Revestimento do Coroamento**

O coroamento da barragem permitirá a circulação de veículos, prevendo-se para o efeito um revestimento betuminoso.

O pavimento será constituído por uma camada com características de sub-base em agregado britado de granulometria extensa ( $e=0,20$  m), uma camada com características de base em

agregado britado de granulometria extensa ( $e=0,20$  m), uma camada de ligação em macadame betuminoso ( $e=0,07$  m) e uma camada de desgaste betão betuminoso com  $0,05$  m de espessura.

#### **8.1.3.8 Ensecadeiras**

Serão construídas 3 ensecadeiras para desvio da ribeira da Seda durante a execução dos trabalhos da barragem e obras hidráulicas, conforme o faseamento geral da obra descrito mais à frente. Uma pré-ensecadeira a montante da barragem, uma ensecadeira de montante que ficará integrada no corpo da barragem e uma ensecadeira de jusante.

A pré-ensecadeira a montante da barragem (Desenho 2104), com coroamento à cota 208,00 e aproximadamente 8,0 m de altura máxima, com taludes inclinados a  $1V/2H$ , será executada com materiais de solo enrocamento, do tipo 3, com as características acima descritas. Dependente da altura do ano, a pré-ensecadeira poderá ter de ser executada por lançamento em ponta de aterro.

A ensecadeira de montante que ficará integrada no corpo da barragem (Desenho 2106), terá o seu coroamento à cota 216,80 e aproximadamente 16,8 m de altura máxima, sendo constituída por um núcleo central de material argiloso do tipo 1 e por um maciço estabilizador de montante e um de jusante constituídos por material de solo-enrocamento do tipo 3, com as características acima descritas. O talude montante terá inclinação  $1V/2,5H$  e o de jusante  $1V/2H$ .

A ensecadeira de jusante (Desenho 2104), com coroamento à cota 203,00 e aproximadamente 3,0 m de altura máxima, com taludes inclinados a  $1V/2H$ , será executada com materiais de solo enrocamento, do tipo 3, com as características acima descritas.

As ensecadeiras deverão ser executadas utilizando as mesmas especificações técnicas utilizadas para a barragem para os mesmos materiais, quer no que diz respeito à qualidade dos materiais, quer aos procedimentos e controlo da qualidade da execução.

#### **8.1.3.9 Compilação dos fusos granulométricos dos diversos materiais**

Na figura seguinte apresenta-se a compilação dos fusos granulométricos dos diversos materiais de construção a utilizar na barragem.

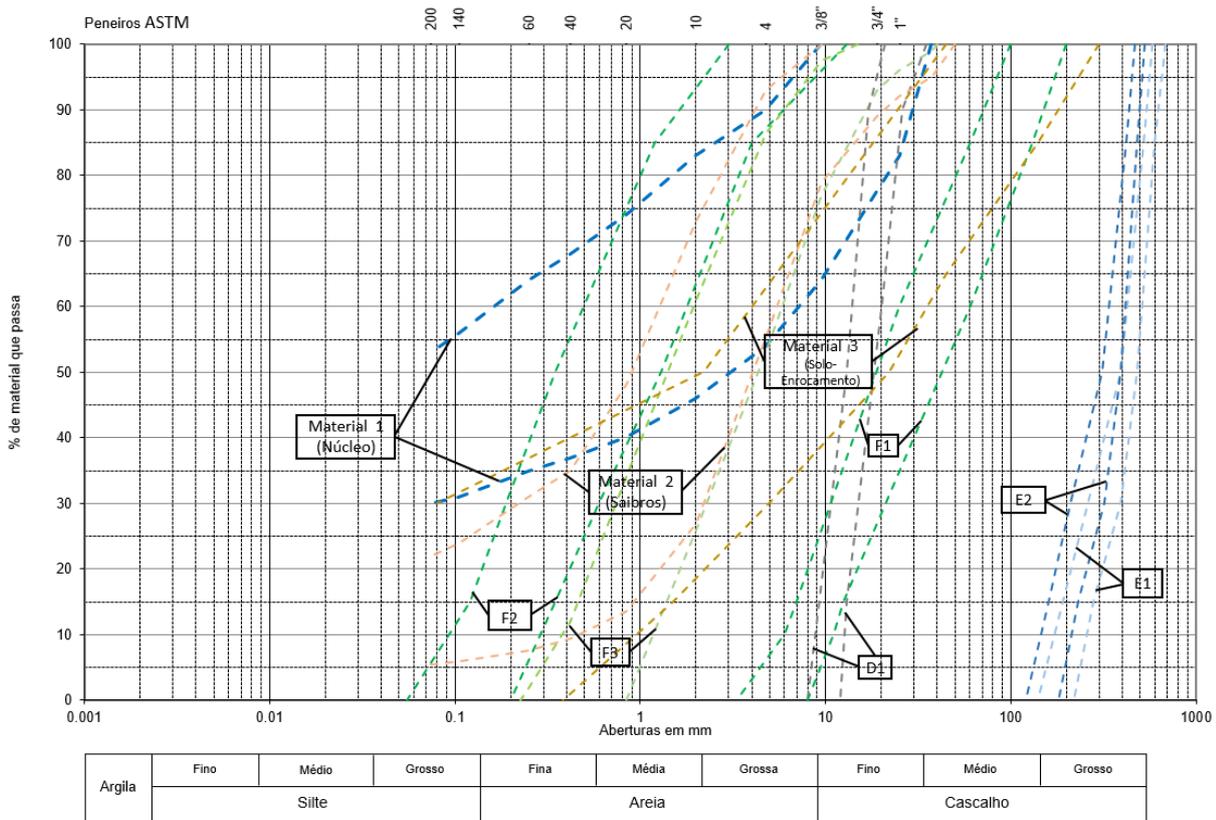


Figura 8.19 – Fusos granulométricos dos materiais a utilizar na construção da barragem

### 8.1.4 Saneamento e Tratamento da Fundação do Aterro

Os trabalhos de preparação da fundação do aterro da barragem iniciar-se-ão pela desmatação e pelo cuidado desenraizamento ao longo de toda a área de implantação da barragem. De seguida, serão saneados os materiais mais descomprimidos existentes por cima do horizonte mais competente do maciço rochoso sobre o qual deverão ser fundados os aterros.

Este horizonte mais descomprimido a sanear corresponde, em geral, ao horizonte geotécnico ZG5 e é constituído pelos depósitos aluvionares na zona do fundo do vale, pelos solos residuais existentes e ortognáissicos, na margem direita e esquerda, respetivamente, e ainda por uma franja mais alterada e mais fraturada ( $W_5$ ,  $F_5$ ) do maciço rochoso.

Desta forma, deverão ser saneados todos os materiais até se obter um maciço com grau de alteração e fracturação de, pelo menos,  $W_3$  ou  $W_{3-4}$  e  $F_4$ . Na zona do núcleo deverá procurar-se uma superfície correspondente a um maciço com grau de alteração e fracturação de, pelo menos,  $W_3$  e  $F_{3-4}$ . A título meramente indicativo e tendo presente que prevalece sempre o critério de classificação geotécnica (grau de alteração e fracturação) poderá ter-se como referência que o material a sanear corresponderá ao horizonte escavável e saneável com recurso a balde montado sobre giratória.

Estima-se que este horizonte a sanear apresente espessuras variáveis entre 1,50 e 2,30 m na zona do fundo do vale e entre 0,30 e 0,90m ao longo da restante margem direita. Na margem esquerda poderá atingir pontualmente profundidades maiores, da ordem dos 3,50 m, nas zonas onde o maciço ortognáissico apresenta perfil de alteração mais profundo, com maior espessura de solo residual.

Chama-se à atenção de que as profundidades definidas neste projeto são uma estimativa com base nos trabalhos de prospeção de carácter mais pontual e que poderá haver uma variação transversal/espacial significativa ao longo da extensa área de implantação da barragem. Assim, as profundidades efetivas de saneamento deverão ser aferidas na frente de obra por técnico competente, com base nas respetivas características geológico-geotécnica que os materiais apresentem, por forma a atingir as características de fundação atrás definidas.

Nos locais onde persistam zonas de rocha saliente após os saneamentos, ou relevos e taludes mais abruptos, deverá proceder-se ao respetivo desmonte por forma a criar uma superfície regular e o mais desempenada possível para um correto assentamento dos aterros e ligação aterro/rocha. Em casos em que existam depressões na superfície de saneamento cujas dimensões impossibilitem a boa compactação dos materiais, sobretudo na zona do núcleo, deverá proceder-se ao seu preenchimento com betão pobre da classe de resistência C16/20.

## **8.1.5 Cortina de Estanqueidade**

### **8.1.5.1 Considerações gerais**

As permeabilidades do maciço rochoso obtidas com os ensaios realizados nas diversas campanhas de prospeção, conforme descrito do Estudo Geológico-Geotécnico, motivaram a preconização de um tratamento de impermeabilização do maciço rochoso de fundação da barragem.

O tratamento de impermeabilização da fundação será realizado com injeções de caldas de cimento ao longo do eixo da barragem, numa extensão de aproximadamente 1470 m. Esta extensão inclui os prolongamentos para lá do eixo da barragem, nos encontros esquerdo e direito, até se conseguir a interseção da piezométrica máxima com o nível estimado para o substrato impermeável.

O tratamento do maciço de fundação será efetuado com dois tipos de injeções:

- Por injeções superficiais de contenção/consolidação e selagem do contacto betão/rocha em furos de 5,0 a 15,0 m de comprimento, verticais, ao longo de 2 fiadas afastadas entre si de 3 m, formando uma malha retangular de 3,0 x 3,0 m<sup>2</sup>, no plano horizontal;
- Por uma cortina de impermeabilização monolinar com furos afastados entre si de 3,0m (em alguns locais 1,5 m), geralmente com 65° de inclinação (pontualmente com outras

---

inclinações), de comprimento variável entre 10,0 e 40,0 m, por múltiplos de 5,0m, podendo alcançar 60m, conforme se detalha mais adiante.

#### **8.1.5.2 Geometria da cortina de impermeabilização**

A escolha da orientação (direção e inclinação) dos furos de injeção teve como objetivos principais criar condições para a interseção o mais oblíqua possível de um maior número de diaclases com a furação e, ao mesmo tempo, garantir alguma uniformização dos trabalhos para tornar mais simples os procedimentos em obra e diminuir os erros de implantação.

Para cumprir o objetivo de intersectar o maior número de diaclases possível, e de modo o mais oblíquo possível, foi feita a representação estereográfica dos planos de descontinuidade reconhecidos durante as campanhas de prospeção, já apresentadas em detalhe no Tomo 3 – Estudos Geológicos Geotécnicos. A escolha da orientação dos furos de injeção seguiu o critério estatístico estabelecido por Terzaghi (1965) que mostra que furos com afastamentos angulares relativamente ao plano médio das descontinuidades (família) inferiores a 30° apresentam maior probabilidade de cair em “zona de sombra”, ou seja, de não intersectarem todas as descontinuidades dessa família.

Conforme referido no Tomo 3, a compartimentação do maciço rochoso ao longo do eixo da barragem organiza-se em 5 grupos (famílias) preferenciais na margem direita e em 4 grupos na margem esquerda.

Na Figura 8.20, Figura 8.21 e Figura 8.22 representam-se os planos médios dessas famílias, em rede polar de igual ângulo – hemisfério inferior, assim como o polo do vetor representativo dos furos de injeção escolhidos e respetivas “zonas de sombra” materializadas por um cone com 30° de abertura (a tracejado). Cada vetor escolhido, isto é, cada orientação de furo de injeção, é o melhor ajuste às diversas atitudes das diaclases existentes. Este ajuste teve igualmente em conta a importância da família de diaclases que coincide com a xistosidade que, pela sua persistência no terreno e orientação, constituem um caminho de percolação preferencial para a água, sobretudo na margem direita.

Das orientações possíveis que cumprem os critérios mencionados, entendeu-se mais apropriado, por razões construtivas, escolher tanto quanto possível as que coincidem com o eixo da barragem, na zona em que esta se desenvolve em troço reto, ou seja, até cerca do PK 1+238. Deste ponto quilométrico até ao final, onde a barragem se desenvolve em troço curvo, adotou-se uma orientação média única. Adicionalmente, na zona do fundo do vale junto ao contacto entre rochas xistentas e granitóides, em que o maciço se encontra mais fraturado e onde existe maior variabilidade da atitude da fracturação, optou-se por definir um reforço com furos quinquenários e com direções cruzadas para melhor garantir o atravessamento de todas as diaclases.

Resulta assim que os furos de injeção deverão ter as seguintes orientações, conforme é também indicado no Desenho 2110:

- Entre o PK 0+000 e o 1+210: Furos com inclinação de  $65^\circ$  com a horizontal e azimute de  $21^\circ$  (coincidente com o eixo da barragem). No encontro direito e na zona de influência da descarga de fundo serão adotadas orientações variáveis para ajuste à geometria da fundação, conforme indicado no Desenho 2110;
- Entre o PK 1+210 e 1+224: Furos primários, secundários, terciários e quaternários com inclinação de  $65^\circ$  com a horizontal e azimute de  $21^\circ$ . Furos quinquenários com inclinação de  $80^\circ$  com a horizontal e azimute de  $21^\circ$ ;
- Entre o PK 1+224 e 1+238: Furos primários, secundários, terciários e quaternários com inclinação de  $65^\circ$  com a horizontal e azimute de  $201^\circ$ . Furos quinquenários com inclinação de  $80^\circ$  com a horizontal e azimute de  $21^\circ$ ;
- Entre o PK 1+238 e 1+255: Furos primários, secundários, terciários e quaternários com inclinação de  $65^\circ$  com a horizontal e azimute de  $215^\circ$ . Furos quinquenários com inclinação de  $80^\circ$  com a horizontal e azimute de  $35^\circ$ ;
- Entre o PK 1+255 e o final da barragem: Furos com inclinação de  $65^\circ$  com a horizontal e azimute de  $215^\circ$ . Na zona de influência do descarregador de cheias e no encontro esquerdo serão adotadas inclinações variáveis para ajuste à geometria da fundação, conforme indicado no Desenho 2110.

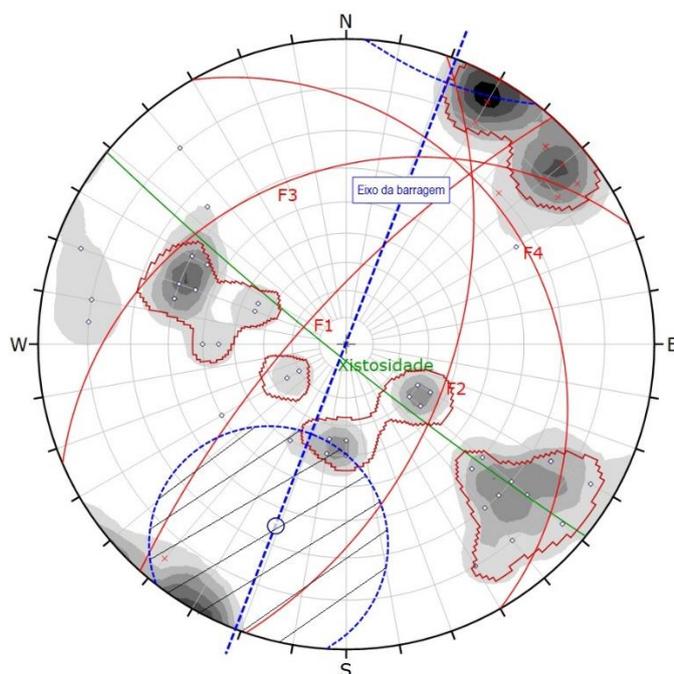
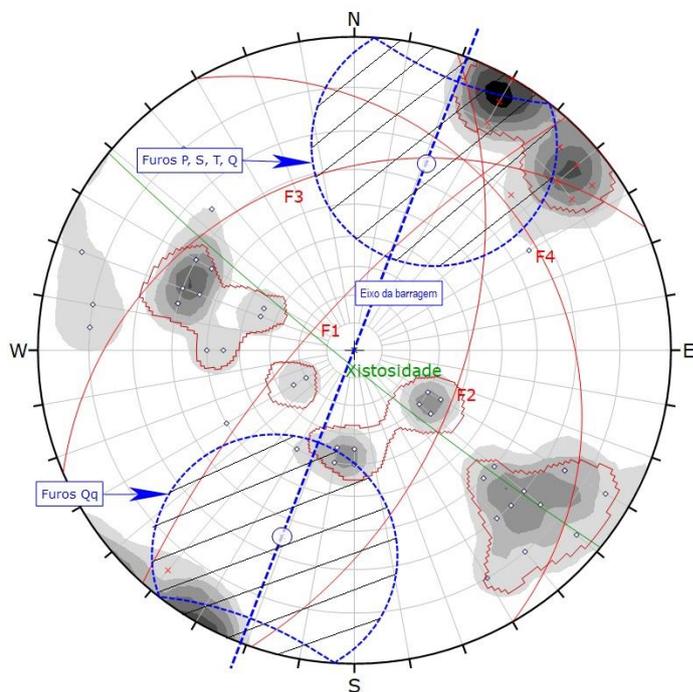
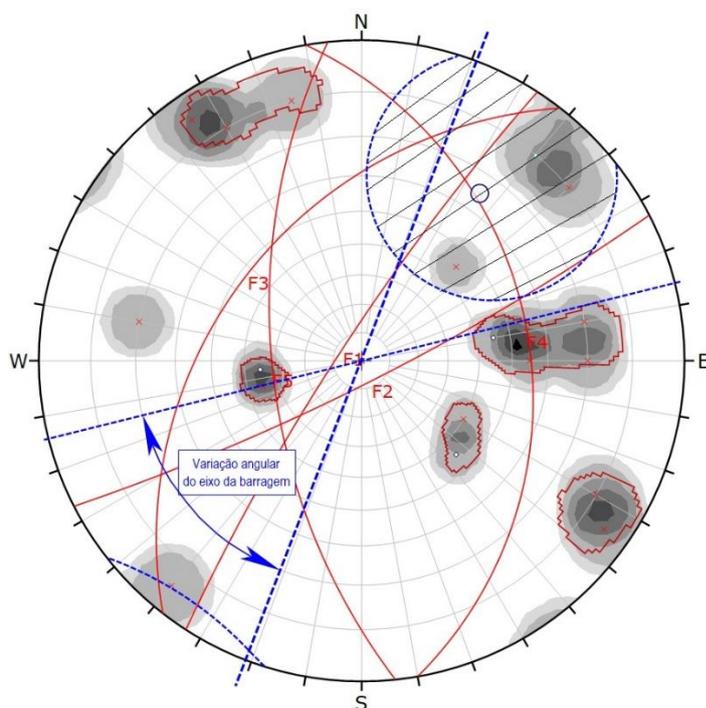


Figura 8.20 – Planos de descontinuidade e vetor representativo dos furos de injeção com respectiva “zona de sombra” (PK 0+000 ao PK 1+224)



**Figura 8.21 – Planos de descontinuidade e vetor representativo dos furos de injeção com respectiva “zona de sombra” (PK 1+224 ao PK 1+238)**



**Figura 8.22 – Planos de descontinuidade e vetor representativo dos furos de injeção com respectiva “zona de sombra” (PK 1+238 ao PK 1+413)**

Os furos da cortina de impermeabilização ficarão com um afastamento final entre si, em geral, de 3,0 m na horizontal. Em alguns locais, esta malha foi apertada para 1,5 m por forma a garantir a continuidade da cortina nas zonas de mudança de inclinação e/ou de maior fracturação do maciço rochoso. Estes furos terão comprimentos variáveis que se estimou variarem entre 10,0 e 40,0 m (em verdadeira grandeza), com base nos resultados da prospeção, pretendendo-se, como objetivo genérico, que a cortina fique encastrada em cerca de 5 m no maciço pouco permeável, isto é, que a permeabilidade do maciço até aos 40,0m tenha uma permeabilidade  $\leq 3$  UL.

Se os ensaios de permeabilidade dos furos exploratórios indicarem que abaixo dos 40,0m existirem permeabilidades ainda demasiado elevadas, poderá decidir-se pelo prolongamento da cortina até uma profundidade onde sejam atingidas permeabilidades aceitáveis, até um prolongamento máximo de 60m. Neste sentido, as medições de quantidades feitas neste projeto tomaram em conta esse cenário maximalista, por forma a acomodar eventuais ajustes feitos em obra entre os 40,0 e os 60,0m. Em obra, serão medidas as quantidades reais efetivamente realizadas.

Abaixo dos 40,0m, a permeabilidade de referência para se considerar o maciço como suficientemente impermeabilizado corresponde a um valor  $\leq 5$  UL, tendo em conta que o caminho de percolação já é suficientemente longo para que os caudais percolados sejam irrelevantes. Ou seja, o prolongamento além dos 40,0m tem como propósito o tratamento de zonas mais localizadas de ocorrência de maciço excecionalmente fraturado a grande profundidade.

Assim, a tomada de decisão sobre a profundidade do prolongamento da cortina na zona de influência de cada furo exploratório será tomada com base no seguinte critério:

- Prolonga-se a cortina até à profundidade a que se tenham obtido dois ensaios de permeabilidade com resultado  $\leq 5$  UL
- Se não forem atingidos esses dois valores  $\leq 5$  UL até aos 60,0m de profundidade, a cortina fica com um máximo de 60,0m na zona de influência do respetivo furo exploratório.

Os furos exploratórios consistem no aproveitamento dos furos de impermeabilização primários para realização de ensaios de permeabilidade Lugeon sistemáticos com 3 patamares de pressão, para caracterização complementar da permeabilidade do maciço e confirmação da profundidade final da cortina. Deverão ser feitos furos exploratórios em todos os furos primários localizados entre o PK 0+910 e o PK 1+285 (de 24 em 24 m) e em cada um de dois furos primários (de 48 em 48 m) na restante extensão. Em todos os furos exploratórios serão realizados ensaios Lugeon com 3 patamares de pressão em troços de 5 m até aos 40 m de profundidade e em troços de 3 m abaixo dos 40 m.

---

Os furos exploratórios terão um comprimento de 45 m entre os PK 0+357 e 0+720 e de 65 m entre os PK 0+720 e 1+253. Na restante extensão da cortina, terão um comprimento de mais 5,0m relativamente aos furos adjacentes, conforme indicado no Desenho 2110.

#### 8.1.5.3 Cortina de contenção/consolidação

As injeções de contenção/consolidação e selagem serão executadas previamente às injeções da cortina central de impermeabilização e ao longo do troço central da barragem com carga hidráulica mais elevada (> 25 m.c.a.), entre o PK 0+678 e o PK 1+296, com exceção da zona de interceção com as escavações da descarga de fundo. Estas injeções serão realizadas em furos verticais, paralelos ao plano da cortina, com profundidades entre 10,0 e 15,0 m, por forma a interseccionar o horizonte mais fraturado do maciço rochoso (ZG4). Os furos terão um afastamento entre si de 3,0m na horizontal.

#### 8.1.5.4 Modo de execução das injeções

As injeções serão executadas a pressão e volume controlados seguindo o método GIN (*Grouting Intensity Number*)<sup>4, 5</sup> com redução da pressão de injeção em função do volume de calda injetada e com utilização de uma calda, tanto quanto possível, única.

Como orientação para utilização deste método de injeção, deverá ter-se em conta o seguinte:

- Como ponto de referência deverá adotar-se uma intensidade de injeção moderada a baixa, ou seja, um valor de GIN = 1250 bar.l/m. Este valor poderá eventualmente ser reajustado em obra, em função da injetabilidade do maciço e do seu comportamento (ocorrência de fenómenos anormais como dilatação, fracturação hidráulica, etc.);
- Deverão utilizar-se pressões máximas ( $P_{max}$ ) iguais a 2,5 vezes a diferença de carga hidráulica entre a cota 248.00 (NPA da albufeira) e a cota média de cada troço a ser injetado, ou seja:

$$P_{max} = (2 \times [(248 - Z_{sup}) + (Z_{sup} - Z_{inj})]) / 10 \text{ (em bar)}$$

sendo  $Z_{sup}$  a cota da boca do furo a ser injetado e  $Z_{inj}$  a cota média do troço a ser injetado. Por facilidade executiva, admite-se que este critério seja simplificado, adotando intervalos para a parcela  $(248 - Z_{sup})$  de 10 em 10 m e para a parcela  $(Z_{sup} - Z_{inj})$  de 5 em 5 m. Adicionalmente, deverá considerar-se uma pressão mínima de 2 bar;

- Deverá adotar-se um volume máximo de calda injetada de 190 l/m.

---

<sup>4</sup> Lombardi, G., Deere, D., 1993 – Grouting. Design and Control Using GIN Principle. Water Power & Dam Construction, June

<sup>5</sup> Lombardi, G. 2002-2003 – 3rd International Conference on Grouting and Grout Treatment

A "nega" será atingida quando a absorção do troço submetida à pressão máxima for inferior a 0,6 l/min.m durante 10 minutos. A pressão máxima será então mantida durante 10 minutos suplementares e a injeção será considerada terminada.

#### **8.1.5.4.1 Injeção de contenção/consolidação e selagem**

A perfuração e a injeção dos furos para a consolidação superficial do maciço, a efetuar em primeiro lugar, serão executadas em 2 fases: na primeira fase injetam-se os furos afastados de 6 m de cada fiada e em quincôncio; na segunda fase injetam-se os restantes furos.

Os furos serão realizados com um diâmetro mínimo de 76 mm (NX), a partir do plinto, mediante a colocação de negativos previamente no betão ou a carotagem do betão armado.

#### **8.1.5.4.2 Injeções da cortina de impermeabilização**

Os furos de impermeabilização serão realizados também com um diâmetro mínimo de 76 mm (NX), a partir do plinto, mediante a colocação de negativos previamente no betão ou a carotagem do betão armado. Caso se opte pelo recurso a negativos no betão, estes deverão ter diâmetros suficientemente folgado para, em caso de desvios do negativo durante a betonagem, ser ainda assim possível cumprir escrupulosamente as inclinações preconizadas para os furos. Nas zonas de interseção com as escavações da descarga de fundo e do descarregador de cheias, as furações e injeções serão realizadas a partir dos taludes da escavação e das soleiras das respetivas estruturas, podendo também, para o efeito, ser deixados negativos no betão ou proceder-se à carotagem do betão armado. Na zona junto aos encontros onde não é executado plinto, serão feitas a partir da superfície de saneamento para a fundação da barragem. Nas zonas que se estendem para além dos encontros (caminhos de acesso) as furações e injeções deverão ser realizadas a partir da cota de escavação para os caminhos, abaixo do pavimento.

Os furos e respetivas injeções na zona da soleira da descarga de fundo, do betão de enchimento das suas laterais e na soleira do descarregador de cheias deverão ser feitos após a execução do respetivo betão, de modo que estas injeções sirvam também como elemento de selagem do contacto betão/rocha. Estes furos deverão ser selados com betão da classe C35/45 XC4 com aditivo não retráctil, numa espessura igual à do elemento perfurado, incluindo limpeza das superfícies de contacto entre betões de diferentes idades com remoção de partículas em desagregação, gorduras ou óleos, e tratamento com agente de colagem do tipo "Sikatop Armatec 110 EpoCem", ou equivalente.

A perfuração e a injeção dos furos da cortina de impermeabilização serão realizadas por fases pelo método das aproximações sucessivas com os comprimentos previstos no desenho da cortina ou ajustados em fase de obra. Consideram-se as seguintes fases:

- 
- 1) Furos exploratórios para caracterização complementar da permeabilidade do maciço: em todos os furos primários entre o PK 0+910 e o PK 1+285 (de 24 em 24 m) e em cada um de dois furos primários (de 48 em 48 m) na restante extensão. Em todos os furos exploratórios serão realizados ensaios Lugeon com 3 patamares de pressão em troços de 5 m até aos 40 m de profundidade e em troços de 3 m abaixo dos 40 m.
  - 2) Restantes furos primários afastados entre si de 24 m;
  - 3) Furos secundários a 12 m dos primários;
  - 4) Furos terciários a 6 m dos primários e secundários;
  - 5) Furos quaternários que completam uma malha com afastamento de 3 m dos restantes furos;
  - 6) Furos quinquenários (a 1,5m dos restantes) nos locais definidos no desenho da cortina e outros eventuais furos quinquenários não previstos, mas que se venham a revelar necessários com os furos de verificação;

Nos furos primários (que não os exploratórios), secundários e terciários serão executados ensaios expeditos de injeção de água nos últimos 5 m para confirmação do encastramento da cortina no maciço pouco permeável, cuja profundidade foi fixada com base nos furos exploratórios. Caso à profundidade fixada nos furos exploratórios não seja atingido o maciço pouco permeável, continuar-se-á a perfuração por troços de 5,0m com novos ensaios expeditos de injeção de água, com um patamar de pressão durante 5 minutos. Tal como no caso dos furos exploratórios, a permeabilidade de referência é de 3 U.L. até aos 40,0m de profundidade e de 5 U.L. daí para baixo.

Nos furos quaternários serão realizados sistematicamente, em troços de 5 m, ensaios expeditos de injeção de água. O resultado destes ensaios servirá para decidir pela injeção ou não do furo, conforme a permeabilidade residual após a injeção dos furos primários, secundários e terciários seja ou não superior a 3 U.L. Essa permeabilidade residual passa a 5 U.L. abaixo dos 40,0m.

Adicionalmente, após a conclusão da malha de injeções prevista, serão executados furos de verificação quinquenários de 100 em 100 m até à profundidade dos furos quaternários adjacentes, com realização de ensaios Lugeon de 5 em 5 m, com 3 patamares de pressão, para aferição da eficácia do tratamento de injeção. Caso algum destes furos revele absorções superiores a 3 U.L. até aos 40,0m ou superiores a 5 U.L. abaixo disso, deverão ser realizados pelo menos mais dois furos de verificação complementares, distanciados de 25 m do primeiro, para tentar limitar a zona com deficiência de tratamento e decidir qual a extensão e a profundidade da cortina que terão de ser alvo de um eventual tratamento complementar com furos quinquenários (que resultarão em 1,5m de afastamento final). Os furos de verificação serão realizados à rotação com carotagem contínua de testemunho para verificação do preenchimento das fraturas.

Este tratamento complementar, a ser necessário em algum local, deverá procurar ser o mais dirigido possível à extensão e profundidade em causa, para evitar trabalhos de furação e injeção desnecessários. O seu objetivo será o de garantir a continuidade da cortina de impermeabilização e colmatar eventuais zonas “janela” onde a permeabilidade residual continue a ser superior a 3 U.L. até aos 40,0m de profundidade ou superior a 5 U.L. abaixo disso, após a execução dos furos previstos (primários, secundários, terciários e quaternários).

Apenas deverão ser feitos e injetados os furos quinquenários nos troços com anomalias, com exceção do troço no fundo do vale, entre os PK 1+210 e 1+253, onde se preconiza a furação e injeção obrigatória de todos os furos quinquenários para garantir o fechamento efetivo do leque de furos nesta zona de transição de inclinações de furação.

Em regra, as injeções dos furos da cortina de impermeabilização serão feitas pelo método ascendente por troços de 5 m, exceto em zonas onde as paredes dos furos não sejam estáveis ou não seja possível obturar. Neste caso, as injeções serão realizadas por troços de 5 m pelo método descendente com reperfuração do troço injetado. Estima-se que possa haver reperfuração em cerca de 5% do comprimento total dos furos da cortina de impermeabilização.

#### **8.1.5.5 Caldas de injeção**

Regra geral, as injeções serão realizadas com uma única calda, estável, preparada à base de água, cimento e aditivo superfluidificante. Admite-se, no entanto, que em situações de consumos excepcionais possam ser utilizadas outras composições mais espessas. Desde que devidamente justificado, a bentonite poderá ser introduzida na composição das caldas em proporções muito baixas ( $B/C \leq 1\%$ ).

Tendo em conta que as águas de percolação no maciço xistento e ortognáissico são potencialmente agressivas ao cimento, optou-se neste projeto por caldas ricas em cimento (com razão A/C baixa), com boa capacidade de penetração e elevada resistência.

No início dos trabalhos, deverá ser feito um estudo de caldas para otimização da fórmula a utilizar, devendo ser estudadas 3 composições de cimento (C), água (A) e aditivo superplastificante (Ad) com relação A/C entre 1/1,5 e 1/2. A bentonite poderá ser utilizada acessoriamente, em proporções reduzidas, caso venha a ser justificado.

O estudo de caldas compreenderá no mínimo os seguintes tipos de ensaios: densidade, viscosidade Marsh, decantação e resistência à rotura a 3,7 e 28 dias. Inclui ainda a realização de análises químicas às águas para avaliação da respetiva agressividade ao cimento. Com base neste estudo serão escolhidas as composições a utilizar, as quais poderão ser ajustadas durante o desenvolvimento da obra.

Na tabela seguinte, são apresentadas, a título indicativo, as composições a estudar no início dos trabalhos e as características médias de referência.

**Tabela 8-9 - Composições e características médias de referência das caldas de injeção a estudar**

Composição	A/C	Ad/C	Características físicas de referência			Resistências à compressão mínimas (MPa)		
			Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidade Marsh (s)	Decantação (%)	3 Dias	7 Dias	28 Dias
1	1/1,5	0,50%	1,68	32	≤ 20	> 10	> 25	> 35
2	1/1,7	0,25%	1,74	39	≤ 10	> 15	> 30	> 40
3	1/2	0,25%	1,83	46	≤ 5	> 20	> 35	> 45

Após a conclusão das injeções dos furos, estes deverão ser preenchidos e selados com calda não retráctil, com a mesma resistência à compressão aos 28 dias da calda de injeção.

Existem 3 galerias de prospeção executadas pelo LNEC há algumas décadas na margem direita e 3 na margem esquerda que deverão ser preenchidas com betão autonivelante da classe de resistência C25/30, por tamponamento à boca da galeria e enchimento em furo a partir de um ponto mais alto. Deverá executar-se um ou dois furos complementares de controlo e purga para ser assegurado um correto preenchimento das cavidades.

#### **8.1.6 Ligação da Barragem com as Estruturas de Betão**

Para diminuir os riscos de estabelecimento de um caminho de percolação preferencial entre os aterros e as estruturas de betão, com conseqüente erosão interna, foram previstas as medidas executivas que a seguir de discriminam.

Na zona de intersecção da galeria da descarga de fundo com o núcleo da barragem, foi previsto um enchimento em betão rampeado a 1V/6H por forma a contrapor o eventual efeito de arco que se gera no contacto do material argiloso com o betão com conseqüente descolamento das camadas.

Foi ainda definido um prolongamento para montante do núcleo argiloso na zona de inserção com a trincheira de escavação da galeria da descarga de fundo, para aumento do caminho de percolação nesta zona.

Na restante extensão da galeria da descarga de fundo, fora da zona de influência do núcleo, preconizou-se uma geometria da escavação com uma sobrelargura que permita a circulação dos equipamentos de espalhamento e compactação, por forma garantir uma adequada colocação das camadas. Além do mais, adotou-se uma geometria dos tardozeis exteriores da galeria com pendente 10V/1H para promover uma melhor ligação das camadas de solo enrocamento e saibros ao betão.

Relativamente à ligação dos aterros à estrutura em betão do descarregador de cheias, apesar de esta ocorrer a níveis de menor carga hidráulica, previu-se também a adoção de uma

geometria dos tardezes exteriores dos muros do descarregador com pendente 10V/1H e um enchimento com betão até uma cota que permita criar largura suficiente nas trincheiras para circulação dos equipamentos de espalhamento e compactação e, deste modo, assegurar uma melhor qualidade do aterro e ligação ao betão.

Nas zonas de ligação do núcleo a estruturas de betão, a compactação dos aterros deverá ser realizada com teor em água 3% acima do ótimo do ensaio de compactação leve, por forma a conferir-lhes uma maior deformabilidade reduzindo assim os riscos de ocorrência de fissurações.

Adicionalmente, a ligação das camadas de aterro ao betão deverá ser feita, tanto quanto possível, com uma ligeira sobrelevação da camada no seu contacto com o betão, de modo a garantir uma boa compactação do contacto, pela criação de uma zona de maior compressão à passagem do cilindro.

#### **8.1.7 Acesso às Banquetas**

O acesso de pequenos veículos às banquetas para eventuais trabalhos de manutenção está garantido através de rampas de ligação a partir do caminho de acesso à plataforma da central, conforme definido no Projeto de Restabelecimentos e Acessos do Volume 1 – Tomo 8.

Tendo em conta a grande extensão da barragem, considerou-se mais adequado criar também um acesso pedonal a partir do coroamento da barragem para acesso mais direto às banquetas da barragem, por exemplo para as operações de inspeção futuras.

Este acesso pedonal será materializado através de uma escada em PRFV, com 820 mm de largura mínima, 200 mm de distância entre degraus, com patamares de descanso a cada 3,0 m e com guarda-corpos nos dois lados com 1,0 m de altura. Esta escada deverá ser apoiada e chumbada no murete do passeio do coroamento, no seu topo, e em pilaretes de betão fundados sobre o aterro da barragem, na sua restante extensão. Para fixação da escada ao murete do passeio do coroamento, far-se-á a interrupção do guarda-corpos metálico numa extensão correspondente à largura da escada e far-se-á o corte da consola do murete à cota do pavimento para aí ser chumbada a escada.

Preconiza-se a instalação de um lance de escada entre o coroamento da barragem e a banqueta à cota 236,60, cerca do PK 0+975, e outro entre essa banqueta e a banqueta à cota 221,60. O acesso à banqueta à cota 209,00 e ao pé da barragem poderá ser feito por descida através do talude natural do terreno.

O detalhe da solução da escada e dos respetivos apoios deverá ser apresentada pelo Empreiteiro.

---

## 8.2 ORGÃOS HIDRÁULICOS ANEXOS DA BARRAGEM

### 8.2.1 Descarregador de Cheias

Adotou-se um descarregador de cheias em canal a céu aberto, de betão, que apresenta como principais benefícios a facilidade de construção e, sobretudo, a facilidade de inspeção, atividade reconhecidamente das mais importantes para a deteção de deteriorações e/ou comportamentos anómalos das estruturas.

No que se refere à implantação do canal procurou-se garantir boas condições de entrada e de restituição e reduzir o desenvolvimento do canal, intercetando as curvas de nível de forma tão perpendicular quanto possível, de forma a minimizar os volumes de escavação e betão necessários.

Relativamente à soleira descarregadora, optou-se por uma solução em labirinto, conforme já justificado ser a melhor solução técnico-económica e apresentada no estudo preliminar. A solução de um descarregador em labirinto apresenta as seguintes principais vantagens:

- Permite ter uma largura inferior do canal sem diminuir a largura efetiva de descarga devido à sua geometria.
- Funcionamento livre sem comportas, sem dependência da operação de equipamentos hidromecânicos e respetivos automatismos, permitindo eliminar muitos dos riscos resultantes do mau funcionamento das comportas durante períodos de cheias (encravamento, falha de energia, etc.), reduzindo significativamente os riscos de galgamento e potencial rotura da barragem.
- A não instalação de comportas elimina os riscos de abertura intempestiva (atribuível a falhas humanas ou de equipamento), a qual pode igualmente provocar situações perigosas para as populações a jusante.

É a seguinte constituição das principais obras que compõem o descarregador de cheias:

- Soleira descarregadora livre com perfil em labirinto de betão armado, com crista à cota 248,00 (NPA da albufeira) e um comprimento nominal próximo de 96 m.
- Troço de canal de descarga retangular convergente, com largura variável de 22,50 m a 12,00 m e com 42,00 m de extensão.
- Troço de canal de descarga retangular, com largura constante de 12,00 m e extensão de 88,00 m.
- Troço de canal de descarga retangular divergente, com largura variável de 12,00 m a 20,00 m e com 37,00 m de extensão.
- Bacia de dissipação de energia por ressalto hidráulico, do tipo II do BUREC, em betão armado, com 20,00 m de largura e 45,00 m de comprimento.

- Canal de restituição em secção trapezoidal, escavado no terreno natural, com 26,00 m de largura de base e cerca de 200 m de extensão, fundo revestido com enrocamento, com declive longitudinal ascendente de 1,41% e margens estabilizadas com muros de gabiões, onde conflui no canal proveniente da descarga de fundo e linha de água a jusante.

Imediatamente a jusante da soleira em labirinto, o canal de descarga terá um troço convergente com 42 m de extensão, que faz a transição para a seção corrente do canal com 12 m de largura.

O canal, de seção retangular, tem um comprimento total de 167 m entre a seção de controlo e a entrada na bacia de dissipação, compreendendo quatro trechos distintos: o primeiro com 20 m de comprimento e 17,5% de inclinação longitudinal e o segundo troço com 22 m de extensão e 31,2% de inclinação longitudinal.

Segue-se um troço divergente com 22 m de extensão e perfil parabólico e largura variável entre 12 e 20 m. Imediatamente a jusante deste divergente encontra-se a bacia de dissipação.

Os muros do descarregador têm altura constante ao longo da maior parte do seu desenvolvimento do canal, igual a 3,5 m, com exceção do troço inicial, de altura variável e crescente em direção à soleira, e do troço final, em que se faz a transição para os muros da bacia de dissipação.

Ao longo de toda a estrutura descarregadora serão instaladas juntas de dilatação espaçadas entre si de 12 m.

A drenagem subsuperficial da estrutura descarregadora até ao divergente será assegurada por geodrenos transversais. Na zona do divergente será assegurada por geodrenos longitudinais.

A zona da bacia de dissipação não é possível drenar, pelo que se prevê a instalação de pregagens com varão DN32 em furos de DN102 mm com 6 m de comprimento.

A jusante da bacia de dissipação prevê-se a construção de um canal de restituição com saída à cota 198,50 e que ligará ao canal de restituição proveniente da descarga de fundo e caudais ecológicos + turbinados na cota 199,50, que é aproximadamente a cota do leito natural da ribeira.

O canal de restituição terá uma secção trapezoidal com largura de rasto de 26 m, com taludes 1V:1,5H e será revestido com enrocamento  $D_{50} = 0,50$  m no fundo e margens e com espessura de 1,20 m.

---

O canal de restituição tem uma pendente negativa, de cerca de 1,42%, e uma extensão de aproximadamente 70 m até atingir a plataforma à cota 199,50, onde se ligará a jusante ao leito natural da ribeira de Seda.

### 8.2.2 Descarga de Fundo

De acordo com os Desenhos 2231, 2241, 2251 e 2261, a descarga de fundo será construída sobre e no interior da galeria de desvio provisório e terá a seguinte constituição, de montante para jusante:

- Tomada de água com soleira à cota 210,20, formada por um orifício com 3,50 x 2,84 m<sup>2</sup> de área bruta, protegido por uma grade grossa metálica.
- Transição para uma conduta retangular quadrada com 1,80 m de lado e 2,10 m de altura.
- Comporta plana de guarda com 1,80 x 2,10 m<sup>2</sup> de área, comandada por servomotor a partir do topo da torre de tomada de água na albufeira, que será construída sobre a estrutura de entrada da galeria de desvio provisório.
- Transição de conduta retangular para conduta circular Ø1800.
- Conduta circular Ø1800. Esta conduta começará por atravessar o rolhão de betão que obturará a entrada da galeria de desvio provisório e, daí até à saída a jusante, será implantada à vista no interior da referida galeria, apoiada sobre berços de betão. O desenvolvimento da conduta será de 246,12 m, dos quais 216,3 m serão em PRFV, correspondentes ao troço à vista dentro da galeria de desvio provisório, e os restantes 29,12 m serão em aço. O troço em aço incluirá uma curva a 50,60° e outra a 50,33° à entrada e duas curvas à saída, uma a 28,35° e outra a 31,56°.
- Transição Ø1800 retangular com 1,10 x 1,80 m<sup>2</sup> de área, colocado imediatamente a jusante de uma curva descendente.
- Comporta de segmento terminal com 1,10 x 1,80 m<sup>2</sup> de área, cuja estrutura de abrigo e de suporte será construída sobre a estrutura de saída da galeria de desvio provisório.

A comporta plana de montante permanecerá normalmente aberta e será utilizada apenas como comporta de isolamento (não regulará caudal). No entanto, deverá estar apta a cortar caudal numa situação de emergência originada por avaria na comporta de segmento. Precavendo esta situação, instalar-se-á, imediatamente a jusante da comporta de guarda, uma conduta de arejamento Ø800, que será instalada sobre a transição quadrado redondo Ø1800.

A comporta de segmento funcionará como órgão de regulação do caudal lançado pela descarga de fundo e foi escolhida precisamente pela sua capacidade de fazer uma regulação fina e praticamente contínua do caudal. A capacidade da descarga de fundo é de 38 m<sup>3</sup>/s com abertura total da comporta de segmento e com o NPA na albufeira.

A dissipação de energia do caudal lançado pela descarga de fundo será feita na bacia de dissipação de energia, a qual tem uma profundidade de 10,50 m entre a cota do leito da ribeira imediatamente a jusante (cota 199,50) e a soleira da bacia (cota 189,00).

### **8.2.3 Tomada de Água**

#### **8.2.3.1 Função, constituição e descrição dos órgãos**

##### **A) Função**

A tomada de água destina-se a transportar caudais para:

- Alimentação da estação elevatória para o Bloco de Rega do Crato, para regadio de área efetiva de 4663 ha desses blocos de rega.
- Alimentação da estação elevatória para abastecimento urbano.
- Caudal ecológico.

##### **B) Constituição**

A tomada de água terá a seguinte constituição:

- Torre de tomada de água com entradas a três níveis – Desenho 2241.
- Condução Ø1800 sob o aterro da barragem, paralela à da descarga de fundo, instalada no interior da galeria de desvio provisório – Desenho 2251.
- Ramificações a jusante, para:
  - As estações elevatórias – Desenho 2271.
  - A central hidroelétrica de pé de barragem, que deverá processar os caudais a lançar no leito do rio, ou seja, os caudais ecológicos e os caudais em excesso na albufeira – Desenho 2281.
  - Um circuito de “by-pass” à central (Desenho 2281), que a deverá poder substituir sempre que:
    - Esta não estiver operacional.
    - O caudal a lançar for inferior ao caudal mínimo de funcionamento das turbinas.

##### **C) Descrição dos Órgãos:**

A torre de tomada de água terá entradas a três níveis: 239,00, 231,00 e 215,50. Estas tomadas a diferentes níveis permitirão que a captação de água se faça sempre nas melhores condições de qualidade.

---

As entradas de água serão obturáveis por intermédio de comportas vagão com 2,10 m x 2,75 m de área, cada, sendo a entrada de água protegida por grelha com 2,62 m x 3,10 m de área. As comportas serão operadas a partir de plataforma à cota do coroamento da barragem, no topo da torre.

A água captada será conduzida a uma conduta vertical de secção quadrada de 2,40 x 2,40 m<sup>2</sup> de área, no interior da torre de tomada de água, que transita para uma conduta Ø1800 mediante uma transição quadrado redondo situada na base da tomada de água a cota inferior.

Esta conduta começará por atravessar o rolhão de betão que obturará a entrada da galeria de desvio provisório e, daí até à saída a jusante, será implantada à vista, apoiada sobre berços de betão, no interior da referida galeria sob o aterro da barragem, com um traçado paralelo ao da descarga de fundo, instalada à direita desta.

A jusante, serão feitas as seguintes ramificações da conduta Ø1800 da tomada de água, de montante para jusante, conforme representado no Desenho 2231:

- Ramificação Ø1000 para a central hidroelétrica.
- Ramificação Ø500 para a estação elevatória para abastecimento urbano.
- Ramificação final, na conduta Ø1800, para a estação elevatória para o bloco de rega do Crato.

A jusante da ramificação Ø1000 para a central, a conduta Ø1800 da tomada de água infletrá em direção a uma câmara de válvulas enterrada.

Esta câmara albergará uma picagem Ø500, dotada de válvula de borboleta, para derivação para a estação elevatória para abastecimento urbano e uma válvula de borboleta Ø1800 na conduta que ligará à estação elevatória para o bloco de rega do Crato.

Imediatamente a montante da válvula de borboleta Ø1800 será instalado um circuito de descarga de fundo Ø500, com descarga na bacia de dissipação de energia da descarga de fundo.

A jusante da referida câmara de válvulas será instalado um cone de transição Ø1800/Ø2000, para ligação a esta última estação elevatória.

O projeto dos troços de conduta de ligação às citadas estações elevatórias e as próprias estações elevatórias não estão incluídos no presente estudo.

A ramificação Ø1000 para a central hidroelétrica será feita para o lado esquerdo da bacia de dissipação de energia da descarga de fundo, pelo que a conduta terá de efetuar um cruzamento em pescoço de cavalo sobre a conduta da descarga de fundo.

A central hidroelétrica, que será dotada de duas turbinas do tipo “Cross flow”, restituirá os caudais turbinados para o interior da bacia de dissipação de energia da descarga de fundo.

A central terá uma potência nominal de 2 x 269 kW nos veios das turbinas, sendo de 2 x 250 kW a potência à saída dos bornes dos alternadores, e queda útil variável entre 17,46 m (na estiagem) e 47,51 m (na estação húmida) para o caudal máximo de 0,72 m<sup>3</sup>/s e 0,74 m<sup>3</sup>/s, respetivamente. O caudal mínimo turbinável será de 0,15 m<sup>3</sup>/s.

O “by-pass” à central será composto por três circuitos paralelos, dois deles com o seguinte equipamento:

- Válvula de cunha Ø500, de comando manual, com funções de isolamento do circuito.
- Filtro Ø500, em Y.
- Medidor de caudal.
- Válvula de globo Ø500 motorizada, para regulação automática do caudal.
- Cone de transição Ø500/Ø600.
- Tê Ø600/ Ø100, sobre o qual será instalada uma ventosa Ø100 de triplo efeito.

O terceiro circuito de “by-pass”, com capacidade para regular caudais mais baixos, terá o seguinte equipamento:

- Válvula de cunha Ø150, de comando manual, com funções de isolamento do circuito.
- Filtro de areia Ø150, em Y.
- Medidor de caudal.
- Válvula de globo Ø150 motorizada, para regulação automática do caudal.
- Cone de transição Ø150/Ø200.
- Tê Ø200/ Ø65, sobre o qual será instalada uma ventosa Ø65 de triplo efeito.

#### **8.2.3.2 Caudais de funcionamento**

Os caudais previstos extrair da tomada de água da albufeira da barragem do Pisão são os seguintes:

- QCE – caudal ecológico.
- QEEAu – caudal para a Estação elevatória para abastecimento urbano.
- QEERega – caudal para a Estação Elevatória de rega para os blocos do Crato.

Os caudais ecológicos mensais previstos descarregar para jusante da barragem foram já estimados e apresentados na Nota Técnica nº 2. Conforme já referido no Ponto 5.4, utilizar-se-ão os caudais ecológicos estimados pelo método do INAG para o dimensionamento da tomada de água.

Os caudais de ponta mensais para a estação elevatória para abastecimento urbano foram extraídos do Estudo Prévio da mesma (AQUALOGUS/TPF, agosto 2022).

Os caudais de ponta mensais para rega dos blocos do Crato foram fornecidos pela empresa Campo d'Água que desenvolveu o projeto de execução da estação elevatória.

Devido à não simultaneidade de todos os caudais extraídos referidos acima, foi necessário estimar os caudais de ponta, a nível mensal, de forma a determinar os caudais máximos e mínimos extraídos na tomada de água.

É de referir que os caudais previstos turbinar na Central Hidroelétrica preconizada correspondem aos caudais ecológicos (QCE) mais os volumes em excesso na albufeira, que se pretende que sejam descarregados para jusante na época húmida, de modo a compensar a albufeira do Maranhão.

Na tabela seguinte apresenta-se o resumo dos caudais máximos calculados previstos extrair mensalmente pela tomada de água da barragem do Pisão.

**Tabela 8-10 – Caudais máximos extraídos mensalmente da tomada de água da barragem do Pisão**

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
	m <sup>3</sup> /s											
Caudal ecológico (INAG), QCE	0,25	0,84	1,25	0,94	1,25	0,81	0,71	0,25	0,00	0,13	0,00	0,00
Caudal ecológico ano seco, 25%.QCE	0,06	0,21	0,31	0,23	0,31	0,20	0,18	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00
Caudal para EE abastecimento urbano QEEAu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Caudal para a EE de rega bloco Crato QEERega	0,93	0,16	0,15	0,16	0,62	1,03	2,20	3,48	4,80	5,00	5,00	2,35
<b>QCE + QEEAu</b>	<b>0,25</b>	<b>0,84</b>	<b>1,25</b>	<b>0,94</b>	<b>1,25</b>	<b>0,81</b>	<b>0,71</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>	<b>0,38</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
<b>QCE + QEEAu + QEERega</b>	<b>1,18</b>	<b>1,00</b>	<b>1,40</b>	<b>1,10</b>	<b>1,87</b>	<b>1,84</b>	<b>2,91</b>	<b>3,98</b>	<b>5,05</b>	<b>5,38</b>	<b>5,25</b>	<b>2,60</b>

Da leitura da tabela anterior, e com base em simulações de turbinagem (ver Tomo 4) estabeleceram-se os seguintes caudais de funcionamento extremos:

- Caudal máximo turbinável na estação húmida = 2 x 0,74 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal máximo global da tomada de água = 5,38 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal mínimo de funcionamento isolado do “by-pass” à central hidroelétrica = 0,02 m<sup>3</sup>/s.

### 8.3 DESVIO PROVISÓRIO DO RIO

#### 8.3.1 Constituição geral

O desvio provisório da ribeira da Seda durante a construção do aterro da barragem – Desenhos da série 2210 - será assegurado por um conjunto formado por uma pré-ensecadeira

a montante, por duas ensecadeiras, uma de montante e outra de jusante, e por uma galeria de betão armado com secção do tipo ferradura, com 5,75 m de largura e 5,75 m de pé direito.

A pré-ensecadeira a montante, com coroamento à cota 208,00 e aproximadamente 7,9 m de altura máxima, terá a constituição que é descrita em detalhe na secção 8.3.2, e destina-se a desviar os caudais afluentes para a galeria de desvio provisório, para permitir a construção da ensecadeira de montante.

A ensecadeira de montante, com coroamento à cota 216,80 e aproximadamente 16,7 m de altura máxima, que será integrado no corpo da barragem, e terá a constituição que é descrita em detalhe na secção 8.3.3.

A ensecadeira de jusante, com coroamento à cota 203,00 e aproximadamente 3,0 m de altura máxima, terá a constituição que é descrita em detalhe na secção 8.3.5.

A galeria de desvio será constituída pelos dois troços seguintes:

- Troço horizontal inicial, com 31,68 m de comprimento, fundo horizontal à cota 202,90 e secção quadrangular 5,75 m de lado, terminando numa transição gradual para a secção em ferradura atrás referida.
- Segundo e último troço em ferradura, com 206,93 m de extensão e com declive de 0,48% entre as cotas 202,90 e 201,90.

Esta galeria é descrita mais detalhadamente na secção 8.3.4.

Como se mostra mediante os cálculos apresentados no Tomo 4 do Volume 1, este sistema de desvio permitirá manter a área de implantação do aterro da barragem totalmente a seco, para cheias com período de retorno igual ou inferior a 50 anos.

Para cheias com período de retorno superior, a ensecadeira de montante será galgada, causando eventuais estragos no aterro da barragem em curso.

Nesse caso, e apenas nesse caso, considerar-se-á a ocorrência de um caso de força maior, tendo o empreiteiro direito a ser ressarcido dos prejuízos sofridos.

Como se verá no Capítulo 9, o prazo global de construção da obra será de 33 meses, estando o sistema de desvio provisório em operação durante 21 desses meses.

### **8.3.2 Pré-ensecadeira de montante**

A pré-ensecadeira a montante tem o seu coroamento à cota 208,00 e aproximadamente 7,9 m de altura máxima, com taludes montante e jusante com inclinação 1V/2H.

Será constituída por materiais do tipo solo-enrocamento, provenientes da exploração de xistos ripáveis ocorrentes no interior da albufeira, com percentagem de finos inferior a 30% e percentagem de material retido no peneiro  $\frac{3}{4}$ " inferior a 40%.

---

### 8.3.3 Ensecadeira de montante

A ensecadeira de montante, com coroamento à cota 216,80 (aproximadamente 16,70 m de altura), será constituída por aterro com núcleo argiloso obtido em manchas de empréstimo dentro da albufeira, a ser integrado no corpo da barragem, ficando os seus taludes de montante e de jusante inclinados a 1,0V:2,5H e 1,0V:2,0H, respetivamente.

Esta ensecadeira de montante ficará integrada no maciço de montante da barragem, com o paramento alinhado com o restante paramento da barragem, e apresenta um perfil zonado, com núcleo central em solos de baixa permeabilidade.

A estanquidade da ensecadeira é assegurada pelo núcleo central, que apresenta uma largura mínima de 3,0 m e paramentos inclinados a 5V:1H. O núcleo será construído com solos de alteração de gnaisses migmatíticos, com percentagem de finos variável entre 20% e 70% e índice de plasticidade inferior a 20%.

É de referir que, as dimensões do núcleo foram reduzidas ao máximo considerado aceitável por forma a minimizar o consumo de solos argilosos nesta estrutura. Já os maciços estabilizadores de montante e de jusante, que apresentam inclinações de 1V:2,5H e 1V:2,0H, respetivamente, serão realizados com misturas de solo-enrocamento, provenientes da exploração de xistos ripáveis ocorrentes no interior da albufeira, com percentagem de finos inferior a 30% e percentagem de material retido no peneiro  $\frac{3}{4}$ " inferior a 40%.

### 8.3.4 Galeria de desvio

A galeria de desvio provisório encontra-se representada em planta e em perfil longitudinal gerais no Desenho 2211.

A secção corrente da galeria, como já se referiu, é de betão armado, construída em "cut-and-cover", com uma geometria interior em ferradura, com 5,75 m de largura máxima e 5,75 m de pé direito.

#### A) Emboquilhamento de montante

O emboquilhamento de montante incluirá a parte inferior da torre de tomada de água, com a estrutura de entrada da descarga de fundo encavalitada sobre a mesma.

Na zona sob a torre, a secção da conduta de desvio será quadrangular, com 5,75 m de lado (dimensões úteis).

O resto da torre de tomada de água irá sendo construída com o desvio provisório a funcionar, até ser atingida a sua geometria definitiva, com a comporta de guarda da descarga de fundo incluída.

Quando o aterro da barragem estiver completamente executado, o escoamento através da galeria de desvio será cortado, mediante colocação de uma ensecadeira metálica perdida, na ranhura prevista para esse efeito no emboquilhamento de montante.

Como se verá no Capítulo 9, ao abrigo da ensecadeira metálica serão instaladas as condutas da tomada de água e da descarga de fundo dentro da galeria, a comporta de segmento da descarga de fundo e os equipamentos a jusante da tomada de água, e será betonada a obra de saída da descarga de fundo.

Posteriormente, será aberta a descarga de fundo e a tomada de água, promovendo o abaixamento do nível de água na albufeira. Assim que o nível atinja a cota 214,40, ou inferior, poderá aceder-se às tubagens DN600 deixadas previamente embebidas na base da torre, que servirão uma para colocação do betão do rolhão de fecho, em betão autocompactável, e outra para expulsão do ar decorrente dessa operação de betonagem.

O acesso à tubagem DN600 para betonagem do rolhão será feito pela margem direita, por intermédio de caminho provisório de obra.

Seguidamente, a descarga de fundo será fechada, ficando aberta a tomada de água, dando assim início ao primeiro enchimento da albufeira.

Enquanto o nível na albufeira não atingir o NME, será necessário garantir caudal ecológico no leito da ribeira a jusante da barragem, provisoriamente, mediante instalação prévia, na margem esquerda da albufeira, junto ao paramento de montante da barragem, de duas bombas em jangada, cada para 35 l/s e altura de elevação compreendida entre 37 m e 57 m, em função do nível de água na albufeira, ligada a uma conduta flexível DN160, com descarga imediatamente a jusante da soleira descarregadora do descarregador de cheias e que, deste modo, conduza a água até à ribeira a jusante.

Cada bomba terá uma potência estimada de 37 kW. Ambas as bombas serão alimentadas por gerador diesel do estaleiro.

A pré-enscadeira de montante deverá ser previamente removida, de forma a permitir a alimentação de água às bombas.

Logo que o nível na albufeira tenha atingido o NME, deverão ser feitos os ensaios de afinação e de ajustamento finais dos circuitos de descarga de caudal ecológico e, assim, que este sistema esteja operacional, o caudal ecológico deverá ser, em definitivo, lançado por este meio para o leito da ribeira da Seda.

---

## B) Emboquilhamento de jusante

Na fase de desvio provisório, a galeria descarregará para uma bacia de dissipação de energia do tipo II do USBR, com 9 m de largura e com fundo à cota 189,00, terminando numa rampa ascendente até à cota 198,50.

### 8.3.5 Ensecadeira de jusante

Será construída uma ensecadeira de jusante, com coroamento à cota 203,00 e altura máxima da ordem dos 4 m, que evitará o refluxo de água para dentro da zona de trabalho, sobretudo na fase de escavação da fundação da barragem.

A ensecadeira terá 3 m de largura e taludes inclinados a 1V:2H e será constituída por materiais do tipo solo-enrocamento, provenientes da exploração de xistos ripáveis ocorrentes no interior da albufeira, com percentagem de finos inferior a 30% e percentagem de material retido no peneiro  $\frac{3}{4}$ " inferior a 40%.

## 8.4 CENTRAL HIDROELÉTRICA

### 8.4.1 Descrição geral

O edifício da Central hidroelétrica localiza-se numa plataforma situada no pé da barragem da margem direita da ribeira de Seda, junto à bacia de dissipação da descarga de fundo (ver Desenhos da Série 2280 do Volume 3).

A Central será exterior, formada por um edifício com geometria em planta que se aproxima à de um retângulo, com dimensões máximas de 22,00 m de comprimento, 21,22 m de largura e um pé direito de 8,10 m.

O edifício terá um portão de entrada de correr com 3,90 m de largura e 4,00 de altura, dando acesso a uma plataforma de carga e descarga de equipamentos situada à cota 203,70.

No edifício da Central haverá uma área climatizada, onde serão instalados os quadros de comando dos grupos e hidráulica, assim como equipamento informático e mesa de operador com o posto SCADA.

Na cota 203,40 serão instalados duas turbinas, multiplicadores de velocidade, geradores e equipamentos auxiliares dos grupos. Na mesma cota também fica instalado o complexo de ramificações da central constituído por dois "by-pass" de DN 500 mm e um DN 150 mm equipados com medidores de caudal e válvulas reguladoras de caudal.

À cota 203,70 será instalado o quadro geral de baixa tensão, os quadros de comando dos grupos e hidráulico, o quadro de informática e o quadro de corrente contínua, assim como o quadro geral de média tensão e o transformador principal.

O edifício da Central será provido de entradas de ar fresco e ventiladores de exaustão de ar quente.

A Central será ainda dotada de uma ponte rolante com capacidade para manusear todos os equipamentos.

No edifício contíguo à Central será instalado o quadro de comando e controlo da comporta de segmento da descarga de fundo e respetiva central óleo hidráulica, assim como o grupo diesel de socorro e uma central hidropressora (que abastecerá as instalações hidráulicas do POC).

#### **8.4.2 Equipamentos**

Os grupos previstos são constituídos por duas turbinas e dois geradores assíncronos acoplados por meio de multiplicadores de velocidade.

A gama de quedas de funcionamento determinou a escolha de turbinas cross-flow com duas células de regulação.

Assim, a central é equipada com duas turbinas, dimensionadas para um caudal nominal unitário de 0,74 m<sup>3</sup>/s e uma queda estática de 48,15 m, resultando o turbinamento numa potência de 269 kW no veio de cada turbina e de 250 kW à saída de cada alternador, considerando rendimentos de 78% para a turbina e de 97% para o multiplicador e 95,5% para o alternador.

Como órgãos de segurança e isolamento das turbinas, adotaram-se válvulas de borboleta com fecho por contrapeso.

O principal meio de movimentação de cargas na central foi dimensionado para movimentar as turbinas os multiplicadores e geradores e compreende uma ponte rolante de 5 ton de capacidade nominal.

#### **8.4.3 Instalações elétricas principais**

A energia elétrica produzida pelos alternadores, com potência estipulada de 2 x 250 kW, é conduzida por cabos de cobre isolados até ao quadro geral de baixa tensão sendo depois ligado ao transformador elevador que asseguram a adaptação entre os níveis de tensão de produção (415 V) e de tensão de emissão (30 kV).

O quadro de média tensão 30 kV, implantado numa plataforma posicionada à cota 203,70, é composto por uma cela de disjuntor, uma cela de medida e proteção e uma cela de chegada. A ligação entre o transformador e a cela de disjuntor é realizada por cabo de cobre isolado.

A ligação entre a cela de chegada e a estação elevatória de rega do Crato será efetuada por cabo de cobre isolado dentro de tubagem enterrada.

---

#### 8.4.4 Funcionamento e condução

A central hidroelétrica será ligada à estação elevatória de rega do Crato em 30 kV prevendo-se que a sua produção possa ser para autoconsumo e o excedente para exportação.

O arranque e a paragem dos grupos será completamente automática, sem intervenção. A instalação de comando e controlo da central será concebido para que o arranque, condução e paragem dos grupos possa ser efetuado localmente, à distância ou por telecomando.

Em comando local, a condução terá dois níveis de intervenção:

- nível dos grupos ou de recurso e de reparação/ensaios, através do painel dos quadros de comando dos grupos;
- nível central, a partir da sala de comando da central via Scada.

Em telecomando, os grupos serão conduzidos a partir do Centro de Telecomando.

#### 8.5 ACESSOS

No presente capítulo é apresentado um resumo do estudo rodoviário dos acessos ao coroamento da Barragem do Pisão, o Acesso à Central e a reposição dos caminhos rurais existentes.

Neste âmbito, foram definidos os seguintes acessos:

- Acesso da Margem Direita à Barragem do Pisão.
- Acesso da Margem Esquerda à Barragem do Pisão.
- Acesso à Central.

Para além disso, foi definida a localização dos caminhos rurais a restabelecer em função da ocupação da albufeira da barragem e do açude.

O **Acesso da Margem Direita à Barragem do Pisão** irá desenvolver-se sobre um caminho rural existente, estabelecendo a ligação entre a EN119 e o local do Zambujeiro, na proximidade do encontro da Barragem.

Este acesso vai iniciar-se na EN119, atravessa o IC13 através de uma Passagem Superior, num troço em que será coincidente com um restabelecimento construído no âmbito da empreitada de construção do IC13, desenvolvendo-se para sudoeste até ao coroamento da barragem.

Em termos de traçado em planta e perfil longitudinal, as características deste novo acesso apresentarão melhorias significativas em relação às condições dos caminhos existentes, preservando os acessos às propriedades existentes.

O **Acesso da margem esquerda à Barragem do Pisão** vai garantir o acesso ao coroamento e à zona do posto de observação e comando.

Este acesso garante a circulação entre um caminho rural e o coroamento da barragem, numa extensão de 261,68 m.

O perfil transversal destes acessos é composto por:

- Faixa de rodagem de 6,00 metros constituída por duas vias de 3,00 metros cada uma;
- Duas bermas de 1,00 metros de largura, pavimentadas de modo idêntico à faixa de rodagem.

A plataforma tem, neste caso, 8,00 metros de largura total.

O **Acesso à Central** faz a ligação entre o coroamento da barragem, na zona da margem direita, e a plataforma da Central, desenvolvendo-se com um andamento aproximadamente paralelo ao limite a jusante da implantação da barragem.

Neste acesso, foram previstos dois caminhos de trabalho para acesso às banquetas da barragem, para trabalhos de manutenção e limpeza.

O perfil transversal do acesso à Central é mais reduzido, apresentando uma largura mínima de 6,00 m, com uma faixa de rodagem de 5,50 m e ladeado por bermas direitas com 0,25 m.

Convém referir que está previsto um alargamento de 0,75 metros de cada lado da plataforma destinada à transição para o talude de aterro. Exceto na situação de escavação, em que se prevê a introdução de uma valeta reduzida e uma banqueta de visibilidade com 1,0 m de largura.

As inclinações de talude serão definidas no capítulo de terraplenagem do volume do estudo rodoviário.

No âmbito da intervenção a realizar resulta uma albufeira com uma vasta área de ocupação.

Estabelecidos os limites do Nível de Pleno Armazenamento e do Nível de Máxima Cheia, foi analisada a rede viária afetada e estabelecidos os troços de rede a ser restabelecidos, tendo também em consideração o cadastro da zona de influência das novas albufeiras.

Para além do acesso à aldeia de Pisão, apenas são afetados caminhos rurais.

No âmbito desta intervenção, foi definido o restabelecimento de 6 troços de caminho rural.

Estes **caminhos rurais**, dada a sua natureza, poderão apresentar características modestas, sendo o seu traçado em planta e perfil longitudinal ajustado ao terreno existente, com o propósito de viabilizar os acessos e minimizar os trabalhos de terraplenagem a realizar.

---

Nos caminhos rurais aceita-se que as vias de tráfego se reduzam ao mínimo absoluto de 2,00 m de largura, que corresponde a uma faixa de rodagem de 4,00 m atendendo aos tráfegos em presença, habitualmente reduzidos.

Esta largura de 4,00 m, mesmo sendo reduzida, é superior à largura dos caminhos existentes.

Nestes restabelecimentos haverá uma concordância com o talude de aterro, com 0,60 m de largura e 10% de inclinação transversal. Na situação de escavação será introduzida uma valeta com 0,75 m de largura, que poderá ser revestida em função da inclinação longitudinal do restabelecimento.

No **Tomo 8 – Acessos e Restabelecimentos** serão apresentados os elementos de projeto dos acessos e caminhos mencionados neste capítulo, incluindo os elementos de todas as especialidades envolvidas no projeto rodoviário:

- Traçado;
- Terraplenagem;
- Drenagem;
- Pavimentação;
- Sinalização e Equipamento de Segurança.

## 9 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS OBRAS E CONDICIONAMENTOS A RESPEITAR

### 9.1 FASEAMENTO GERAL

No Anexo 1, é apresentado o cronograma que se propõe para a realização das obras e que será devidamente adaptado pelo adjudicatário das mesmas, em função dos seus métodos construtivos.

Por razões que têm a ver com prazos de financiamento comunitário, a construção deverá ficar concluída até ao final de 2025, o que deixa um prazo bastante apertado para a realização das obras.

Assim, procurou-se compactar o mais possível o dito prazo, o que forçará o adjudicatário da obra a disponibilizar meios adequados e abundantes e a criar várias frentes de trabalho simultâneas.

Chegou-se a um prazo mínimo de 33 meses para a empreitada, o qual, sendo tecnicamente viável, não deixa de ser bastante ambicioso e, sobretudo, muito sensível à ocorrência de imprevistos, tais como cheias de elevado período de retorno.

O referido prazo de **33 meses** será dividido nas seguintes três fases:

- Fase inicial, anterior ao desvio provisório do rio, com 9 meses de duração, durante a qual se realizarão, essencialmente, a instalação do estaleiro, a abertura de acessos provisórios e a construção do sistema de desvio provisório do rio, que irá funcionar na fase seguinte.
- Fase intermédia, correspondente ao funcionamento do desvio provisório do rio, com 20 meses de duração, durante a qual será construído o aterro da barragem.
- Fase final, posterior ao fechamento do desvio provisório do rio, com apenas 3,5 meses de duração e que será dedicada, essencialmente, à construção das partes da descarga de fundo e da conduta de tomada de água que tiram proveito da galeria de desvio provisório e que, por isso, só poderão ser executadas quando a mesma for posta a seco.

Note-se que o primeiro enchimento da albufeira começará no início da fase final, ou seja, 29 meses após o início da empreitada.

Nas secções seguintes descrevem-se, com maior detalhe, o âmbito e os condicionamentos inerentes a cada uma das três fases atrás referidas.

---

## **9.2 FASE INICIAL, ANTERIOR AO DESVIO DO RIO**

Como se referiu na secção anterior, a fase inicial compreenderá a instalação do estaleiro e a abertura de acessos provisórios, estes últimos a realizar, sobretudo, dentro da área a inundar pela albufeira e a ocupar pela barragem.

Durante esta fase serão, também, construídas a galeria de desvio provisório do rio, a pré-ensecadeira de montante, a ensecadeira de montante e a ensecadeira de jusante.

A pré-ensecadeira de montante permitirá a colocação do leito a seco para construção da ensecadeira de montante. Após esta estar construída, deverá ser removida a pré-ensecadeira de montante.

Por não estarem dependentes do desvio do rio, serão também realizadas a desmatação da área de implantação do aterro e será escavada a respetiva fundação, em todo o lado exceto no fundo do vale. O mesmo se aplica ao plinto, a parte da cortina de injeção e ao aterro experimental.

A parte inferior da torre de tomada de água e a entrada da descarga de fundo estão incluídas na estrutura de desvio provisório do rio (incluindo as peças fixas da comporta de guarda da descarga de fundo), pelo que terão que ser realizadas também durante esta fase.

Para ganhar tempo, preconiza-se que se abra também uma frente de trabalho independente, para começar a construção das estradas de acesso.

## **9.3 FASE INTERMÉDIA, DE DESVIO DO RIO**

Logo que o escoamento da ribeira da Seda for derivado para o circuito de desvio provisório, iniciar-se-á a fase principal da obra, durante a qual será erigido o aterro da barragem.

Até ao final desta fase, que marcará o arranque do primeiro enchimento da albufeira, terão, forçosamente, que ficar concluídas as seguintes obras:

- Descarregador de cheias.
- Aterro da barragem até à cota 250,50, incluindo a instalação dos dispositivos de observação no interior do aterro.
- Torre de tomada de água na albufeira, completa com todos os equipamentos hidromecânicos.
- Circuito de by-pass à central, para caudal ecológico.
- Central hidroelétrica.
- Remoção da ensecadeira de jusante.
- Desmatação da albufeira.

Convirá, por segurança, ter o descarregador de cheias operacional antes de fechar o desvio provisório do rio.

A torre de tomada de água na albufeira também terá de estar completa, com todo o equipamento de isolamento disponível, já que não adianta fechar a entrada do desvio provisório se não for possível fechar, também, as entradas para os circuitos de descarga de fundo e da tomada de água que, aliás, ainda não estarão instalados no final da fase intermédia.

O circuito de caudal ecológico também terá de ficar operacional, para começar a funcionar logo que seja atingido o NME.

No final desta fase será removida a ensecadeira de jusante, de forma a desimpedir o leito da ribeira a jusante do descarregador de cheias.

Por último, o início do primeiro enchimento da albufeira obriga a que a desmatação da albufeira esteja concluída no final da fase intermédia. Porém, a dita desmatação só deverá ser generalizada à totalidade da albufeira na parte final da dita fase, para limitar a erosão e o arrastamento de sedimentos para a ribeira.

De acordo com o Anexo 1, será ainda necessário instalar, imediatamente antes do final da fase intermédia, uma jangada provisória equipada com duas bombas, para assegurar caudal ecológico.

É a seguinte a justificação deste equipamento:

- O sistema de garantia de caudal ecológico só poderá começar a funcionar quando for atingido o NME.
- Por isso, logo a seguir ao fecho do desvio provisório, e enquanto o nível na albufeira não atingir o NME, não será possível garantir caudal ecológico na ribeira da Seda com o equipamento definitivo da barragem.

Assim, para cobrir este período de carência, mesmo que seja curto, será necessário montar previamente um sistema provisório constituído por uma jangada flutuante com duas bombas de serviço, ligadas, cada uma, a uma conduta flexível que vá até à soleira do descarregador de cheias (ver secção 8.3.4).

#### **9.4 FASE FINAL, POSTERIOR AO FECHAMENTO DO DESVIO PROVISÓRIO DO RIO**

Uma vez fechado o desvio provisório, serão executados os troços intermédio e final da descarga de fundo, dado que, enquanto este órgão não estiver totalmente operacional, não será possível controlar o primeiro enchimento da albufeira. Esta será, pois, a tarefa prioritária a realizar na fase final.

---

Nesta fase, com apenas 3,5 meses de duração, serão também concluídos os seguintes trabalhos:

- Troço da conduta da tomada de água que ficará instalado no interior da galeria de desvio provisório.
- Instalação de comporta metálica no emboquilhamento de montante da galeria.
- Betonagem do rolhão sob a torre de tomada de água.
- Câmara de válvulas no pé da barragem.
- Coroamento da barragem.
- Instrumentação da barragem.
- Acabamentos.
- Instalações elétricas, de iluminação e de medição.
- Obras complementares de valorização ambiental.

## **9.5 CONDICIONAMENTOS ESPECIAIS**

O cronograma apresentado no Anexo 1 terá dois condicionamentos especiais a ter em conta:

- Os trabalhos do fecho do desvio provisório, a realizar no período compreendido entre a instalação da ensecadeira metálica no emboquilhamento de montante e a betonagem do rolhão sob a torre de tomada de água (conforme definido na secção 8.3.4), deverão ser executados num período de estiagem, no qual o nível na albufeira poderá subir até cerca de 20 m, até à cota 222,00.
- A descarga de fundo, assim que esta fique operacional, ou seja, logo após a instalação dos equipamentos hidromecânicos na estrutura de saída, deverá ser aberta e assim permanecer até à data prevista para início do primeiro enchimento, após aprovação do respetivo plano de primeiro enchimento pela Autoridade.
- Outro condicionamento que deverá ser tido em conta na definição do cronograma de obra e no dimensionamento do equipamento prende-se com a execução dos aterros nos períodos de chuva. Com efeito, tendo em conta duração prevista para os trabalhos da fase inicial e da fase intermédia, prevê-se que o início da execução dos aterros possa ocorrer em plena época de chuvas, indo ainda atravessar a época de chuvas do ano seguinte (Ano 2). Dada a necessidade de controlo do teor em água dos solos do aterro, nomeadamente dos do núcleo, a construção do aterro durante os períodos de chuva terá rendimentos muito baixos, sendo por isso necessário compensar o baixo rendimento dessas épocas com maiores rendimentos durante as épocas secas do Ano 2 e Ano 3 (neste último caso apenas abrangida parcialmente). Este condicionamento levará a variações significativas do rendimento das obras e da afetação de

equipamentos que terão de ser devidamente consideradas nas propostas dos  
Empreiteiros.









