



Universidade de Évora

BARRAGEM DO PISÃO – ANÁLISE DOS ASPECTOS CONDICIONANTES NA SUA CONSTRUÇÃO.



Dissertação apresentada para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia dos Recursos Hídricos
Especialização em Planeamento e Gestão da Água.

Autor: Manuel Francisco Pinela Aires da Bica

Orientador: Prof. Doutor Manuel Rijo

ÉVORA 2010

“Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”.



Universidade de Évora

BARRAGEM DO PISÃO – ANÁLISE DOS ASPECTOS CONDICIONANTES NA SUA CONSTRUÇÃO.



Dissertação apresentada para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia dos Recursos Hídricos
Especialização em Planeamento e Gestão da Água.

Autor: Manuel Francisco Pinela Aires da Bica

Orientador: Prof. Doutor Manuel Rijo



186158

ÉVORA 2010

“Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado em obediência ao plano de estudos do Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos – Edição 2008/2010 – Planeamento e Gestão da Água, da Universidade de Évora, relativo ao tema “Barragem do Pisão – Aspectos Condicionantes na sua Implantação” e teve como instituição de acolhimento a Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva S.A. (EDIA S.A.).

Ao concluir este trabalho o sentimento é de grande satisfação. É, por isso, meu desejo manifestar reconhecimento a todos aqueles que, de algum modo, me ajudaram na realização do mesmo.

Aqui deixo a devida referência,

Ao Professor Doutor Manuel Rijo, o agradecimentos pelo incentivo, as valiosas sugestões e a leitura cuidada e preciosa de todos os capítulos, bem como, pela amizade e permanente disponibilidade na orientação deste trabalho.

À Eng.^a Isabel Grazina, Eng.^o Martinho Murteira e ao Eng.^o Jorge Vasquez, um agradecimento especial pela força transmitida e pelos seus incansáveis apoios.

A toda a equipa envolvida na construção da barragem do Pisão, nomeadamente à Teixeira Duarte e CENOR Consultores, nas pessoas do Eng.^o Augusto Canelas, Eng.^o Manuel Romeiro e Eng.^o Raul Sousa; ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, na pessoa da Eng.^a Laura Caldeira; à Aqualogus/Tetraplano, na pessoa da Eng.^a Ana Quintela. A todos, engenheiros de excepção com quem tive o privilégio de trabalhar e aprender, os meus agradecimentos.

À EDIA S.A., que desde o início, disponibilizou toda a informação necessária para a sua concretização.

Aos meus pais por serem quem são...

À Fátima, por todo o apoio que me tem dado ao longo da nossa vida em comum.

Ao meu filho Francisco pelo que ele representa para a minha vida

.

RESUMO

O presente trabalho descreve as principais características da barragem do Pisão e aborda as principais alterações efectuadas durante a empreitada de construção.

Descreve os materiais utilizados na construção, caracteriza a fundação, bem como, a metodologia adoptada para a realização do aterro experimental da barragem.

Simultaneamente procura identificar e caracterizar alguns dos principais problemas que foram detectados na concepção e construção e que, como tal, condicionam a sua execução.

Por fim, apresenta-se paralelamente algumas sugestões, que sirvam de orientação para futuros projectos a implementar de idêntica natureza.

Palavras-Chave: Aproveitamentos Hidráulicos; Aterros; Barragens; Implementação de Projectos; Empreendimento de Fins Múltiplo de Alqueva; Plano de Trabalhos.

ABSTRACT

This study aim to describe the most relevant characteristics of Pisão dam at the same time it focus upon the main changes undertaken during the construction works.

Construction materials description, foundation characterization and work method used during construction of the dam landfill, are presented.

Furthermore, the study seeks to identify and characterize the main constraints that have limited the project execution during the dam conception and construction.

Finally, some suggestions that may be used as major guidelines in similar projects, are also presented.

Keywords: Hydraulic developments; Dams embankments; Project Implementation; Alqueva Multipurpose Project (EFMA – Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva).

ÍNDICE

1 – Considerações prévias e objectivos _____	1
2 – Caracterização geral do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva (EFMA) _____	4
2.1 - Subsistema Alqueva _____	6
2.2 - Subsistema Ardila _____	8
2.3 - Subsistema Pedrógão _____	9
3 - Aspectos relevantes do projecto de execução da barragem do Pisão _____	10
3.1 - Recursos hídricos _____	11
3.2 – Condições geológicas - geotécnicas _____	15
3.2.1 Caracterização geotécnica do local da barragem e sua fundação _____	15
3.2.2 Empréstimos para o aterro da barragem _____	20
3.2.2.1 Materiais para o núcleo e maciços estabilizadores _____	21
3.2.2.2 Materiais para filtros, drenos e enrocamentos _____	24
3.3 - Concepção geral e características das obras _____	25
3.3.1 Características gerais da obra _____	25
3.3.2 Observação da barragem _____	36
4 - Aspectos condicionantes na execução da barragem do Pisão _____	37
4.1 - Considerações gerais _____	37
4.2 - Acompanhamento de obra. Partes intervenientes na execução _____	37
4.3 - Programação das obras _____	38
4.4 - Fundação da barragem _____	40
4.4.1 Prospecção complementar _____	40
4.4.2 Caracterização geral da fundação _____	41
4.4.3 Preparação da fundação, soluções preconizadas _____	44
4.4.3.1 Profundidade da vala corta-águas _____	44
4.4.3.2 Colocação de camada de filtro na face de jusante da vala corta-águas _____	45
4.4.3.3 Remoção da argila aluvionar na fundação do maciço estabilizador de montante _____	46
4.4.3.4 Cota de saída do tapete drenante _____	47
4.4.3. Redução da espessura do núcleo _____	47
4.5 – Manchas de empréstimo _____	48
4.5.1 Prospecção complementar na mancha E4 _____	50
4.5.2 Prospecção complementar na mancha E5 _____	51
4.5.3 Prospecção complementar na mancha E1 _____	52
4.5.4 Resumo da origem dos materiais utilizados no aterro da barragem _____	53
4.6 - Aterro experimental _____	55
4.6.1 - Definição da exploração da mancha de empréstimo _____	55
4.6.2 - Construção e caracterização dos aterros experimentais _____	56
4.6.3 - Apresentação e análise dos resultados _____	58
5 - Conclusões e recomendações _____	71
5.1 Fundação da barragem _____	71
5.2 Manchas de empréstimo _____	73
5.3 Aterros experimentais _____	73
Bibliografia _____	75
Anexos _____	77

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Barragens que integram o subsistema Alqueva. _____	8
Quadro 2: Barragens que integram o subsistema Ardila. _____	9
Quadro 3: Barragem que integra o subsistema Pedrógão. _____	9
Quadro 4: Valores médios dos caudais diários e caudais diários máximos na bacia hidrográfica da barragem do Pisão (Fonte: Projecto de execução, 2003) _____	12
Quadro 5: Caudais de ponta de cheia obtidos por aplicação da fórmula racional, para duração igual, dupla e tripla do tempo de concentração e período de retorno de 1000 anos (Fonte: Projecto de execução, 2003). _____	13
Quadro 6: Características geotécnicas das áreas E1;E5 e E6; (Fonte: Projecto de execução, 2003). _____	23
Quadro 7: Diâmetros característicos e dimensão das partículas do material tipo 3 a aplicar nos filtros da barragem (Fonte: Projecto de execução, 2003). _____	24
Quadro 8: Principais características da albufeira e barragem do Pisão (Fonte: Projecto de execução, 2003) _____	25
Quadro 9: Caudais correspondentes aos períodos de retorno de 2, 5, 10 e 50 anos (Fonte: Projecto de execução, 2003) _____	32
Quadro 10: Níveis da albufeira correspondentes aos caudais com período de retorno de 2, 5, 10 e 50 anos (Fonte: Projecto de execução, 2003) _____	33
Quadro 11: Distância à origem (PK) e comprimento das trincheiras T1,T2 e T3 _____	41
Quadro 12: Delimitação da profundidade e espessura da cascalheira. _____	44
Quadro 13: Limite de liquidez, índice de plasticidade e densidade das partículas das amostras de referência dos maciços estabilizadores. (Fonte: Laboratório de obra). _____	60
Quadro 14: Limite de liquidez, índice de plasticidade e densidade das partículas das amostras de referência do núcleo. (Fonte: Laboratório de obra). _____	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Carta global de enquadramento do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva – EFMA. (Fonte: EDIA 2009)	5
Figura 2: Hidrogramas de cheia afluentes para a duração da precipitação igual, dupla e tripla do tempo de concentração (Fonte: Projecto de execução, 2003).	14
Figura 3: Carta Geológico-estrutural integrando a albufeira, o local da barragem e as áreas de empréstimo de terras E0;E1;E2;E3;E4;E5;E6;A1;A2 e A3 (Fonte: Projecto de execução, 2003).	16
Figura 4: Local da barragem. Corte pelo eixo com zonamento geotécnico (Fonte: Projecto de execução, 2003).	17
Figura 5: Fusão granulométrico para os materiais a utilizar no núcleo, tipo.(Fonte: Projecto de execução, 2003).	22
Figura 6: Fusão granulométrico para os materiais a utilizar nos maciços, tipo 2. (Fonte: Projecto de execução, 2003).	23
Figura 7: Fusão granulométrico para os materiais a utilizar nos filtros drenos e enrocamentos, tipo 3,4 e 5. (Fonte Projecto de execução, 2003).	24
Figura 8: Perfil transversal esquemático (Fonte: Projecto de execução, 2003)	27
Figura 9: Pormenor, a jusante, do tapete colector e dreno de pé (Fonte: Projecto de execução, 2003).	28
Figura 10: Curva de vazão do esquema de desvio provisório e volume de aterros em função da cota da barragem. (Fonte: Projecto de execução, 2003).	32
Figura 11: Pormenor da torre de tomada de água (Fonte: Projecto de execução, 2003)	34
Figura 12: Filtro a jusante da vala corta-águas.	45
Figura 13: Alteração da geometria do núcleo.	48
Figura 14: Curva granulométrica das amostras de referência 54, 55, 58, 61 e 62, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia e a preto os limites do fusão granulométrico. (Fonte: Laboratório de obra)	59
Figura 15: Resultado dos ensaios Proctor normal das amostras de referência 54, 55, 58, 61 e 62, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia. (Fonte: Laboratório de obra)	61
Figura 16: Curvas de compactação após 4, 6 e 8 passagens considerando os valores médios dos aterros dos maciços estabilizadores.	62
Figura 17: Curvas de compactação após 4, 6 e 8 passagens considerando os valores das garrafas de areia das misturas dos aterros dos maciços estabilizadores.	63
Figura 18: Curva granulométrica das amostras de referência 56, 57, 66, 65 e 69, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia e a preto os limites do fusão granulométrico. (Fonte: Laboratório de obra)	66
Figura 19: Resultado dos ensaios Proctor normal das amostras de referência 56, 57, 66, 65 e 69, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia. (Fonte: Laboratório de Obra)	67
Figura 20: Curvas de compactação após 6, 8 e 10 passagens considerando os valores médios dos aterros do núcleo.	68
Figura 21: Curvas de compactação após 6, 8 e 10 passagens considerando os valores das garrafas de areia das misturas de referência dos aterros.	69

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Vista de montante e para jusante do descarregador de superfície.	30
Fotografia 2: Pormenor do metavulcanitos básicos do substrato rochoso no local da barragem.	42
Fotografia 3: Conduta da tomada de água. Vista Geral da escavação da vala, observando-se as afluências de água provenientes do maciço de fundação do encontro esquerdo.	42
Fotografia 4: Metavulcanitos decompostos e descomprimidos no fundo do vale perto do PK 100.	43
Fotografia 5: Escavação da vala corta-águas. Encontro direito em material de “caliço”.	43

1 – Considerações prévias e objectivos

Situado no Alentejo, no Sul de Portugal, o Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) tem a sua área de influência directa distribuída por 20 concelhos dos Distritos de Beja, Évora, Setúbal e Portalegre.

Esta abrangência, numa área que se estende por cerca de 10 000 km², faz deste Projecto um instrumento estruturante, mobilizador de um diversificado conjunto de actividades, sustentado num processo de desenvolvimento integrado.

O EFMA está centrado na barragem de Alqueva, principal infraestrutura do Projecto. Com ela foi possível criar um reservatório com capacidade de regularização inter-anual e, a partir dele, distribuir água por toda a região beneficiária.

Das principais infra-estruturas fazem parte as redes primárias e secundária, estações elevatórias, 15 barragens intermédias, reservatórios e redes de drenagem e viária. Na vertente agrícola do EFMA, está actualmente previsto a instalação de 110 000 hectares de novos regadios no Alentejo.

O Sistema Global de Rega de Alqueva divide-se em três subsistemas:

- O Subsistema de rega de Alqueva, com captação de água na albufeira de Alqueva (Estação Elevatória dos Álamos), é responsável por uma área beneficiada com cerca de 59 690 hectares;
- O Subsistema de rega do Ardila, com origem de água na albufeira de Pedrógão, na margem esquerda, beneficia uma área do cerca de 29 578 hectares de área regada;
- O Subsistema de rega de Pedrógão, com captação de água igualmente na albufeira de Pedrógão, na margem direita, é responsável pela distribuição de água em cerca de 20 935 hectares de regadio.

A Barragem do Pisão está enquadrada no subsistema de rega de Alqueva, recebendo água através do sistema adutor primário que, partindo da estação elevatória dos Álamos, faz a adução às barragens dos Álamos I, II e III, canal Álamos/Loureiro (com 12 km) e Barragem do Loureiro, infra-estruturas já construídas. Segue para a albufeira de Alvito através de 11 km de túnel e de Alvito para a albufeira do Pisão, por um canal com 36 km de extensão. A albufeira do Pisão beneficia directamente 2 588 hectares, divididos por três blocos de rega.

Numa fase em que a grande maioria dos projectos que compõem o sistema Global de Rega de Alqueva estão em construções, é necessário que o seu planeamento e a sua construção se procedam cuidadosamente, de modo a prevenir a ocorrência de eventuais problemas, na fase de obra e posteriormente na fase de exploração.

A execução de projectos, como a construção da barragem do Pisão, implica uma adaptabilidade e constante verificação das soluções preconizadas de projecto, não sendo raro a necessidade de definir novas soluções em fase de obra.

Ao estar envolvido nesta empreitada de construção, nos quase dois anos da sua duração, nas funções de Dono de Obra nomeado pela EDIA S.A. e Director Técnico da Obra, de acordo com o definido no artigo 9º, do Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) e com o artigo 3º, do Regulamento de Construção de Barragens (RCB), numa altura em que é muito importante produzir informação adequada de suporte à decisão que sirva de orientação para uma mais adequada concepção, planeamento e execução dos novos projectos a implementar, o autor da presente tese gosta de pensar que não se perde o “Know How” que representou a maior valia técnica, inquestionável, proporcionada pela presença de vários técnicos especialistas afectos aos diferentes intervenientes numa empreitada desta natureza,

O presente trabalho surge assim com o objectivo de proceder à identificação e análise das principais situações que condicionaram a empreitada de construção da Barragem do Pisão, de forma a intervir adequadamente na sua resolução e contribuir para evitar que situações similares ocorram nas restantes empreitadas a realizar, alertando os técnicos responsáveis para a eventualidade de haver necessidade de efectuar alterações durante a concepção/construção dos futuros projectos.

2 – Caracterização geral do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva (EFMA)

A resolução do Conselho de Ministros nº 203/97, de 13 de Novembro, aprovou a orientação contida no Estudo Prévio do sistema de rega do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA). Nos termos daqueles estudos o sistema de rega é constituído por três subsistemas:

- Subsistema Alqueva.
- Subsistema Pedrógão.
- Subsistema Ardila.

O EFMA é constituído por um conjunto de infra-estruturas de diferente natureza, das quais se destacam as barragens, canais, túneis, centrais hidroeléctricas, centrais mini-hídricas, condutas, estações elevatórias e reservatórios. Interligadas entre si, estas infra-estruturas formam um sistema que permite assegurar o fornecimento de água para fins agrícolas, produção de energia eléctrica e abastecimento urbano e/ou industrial (Figura 1).

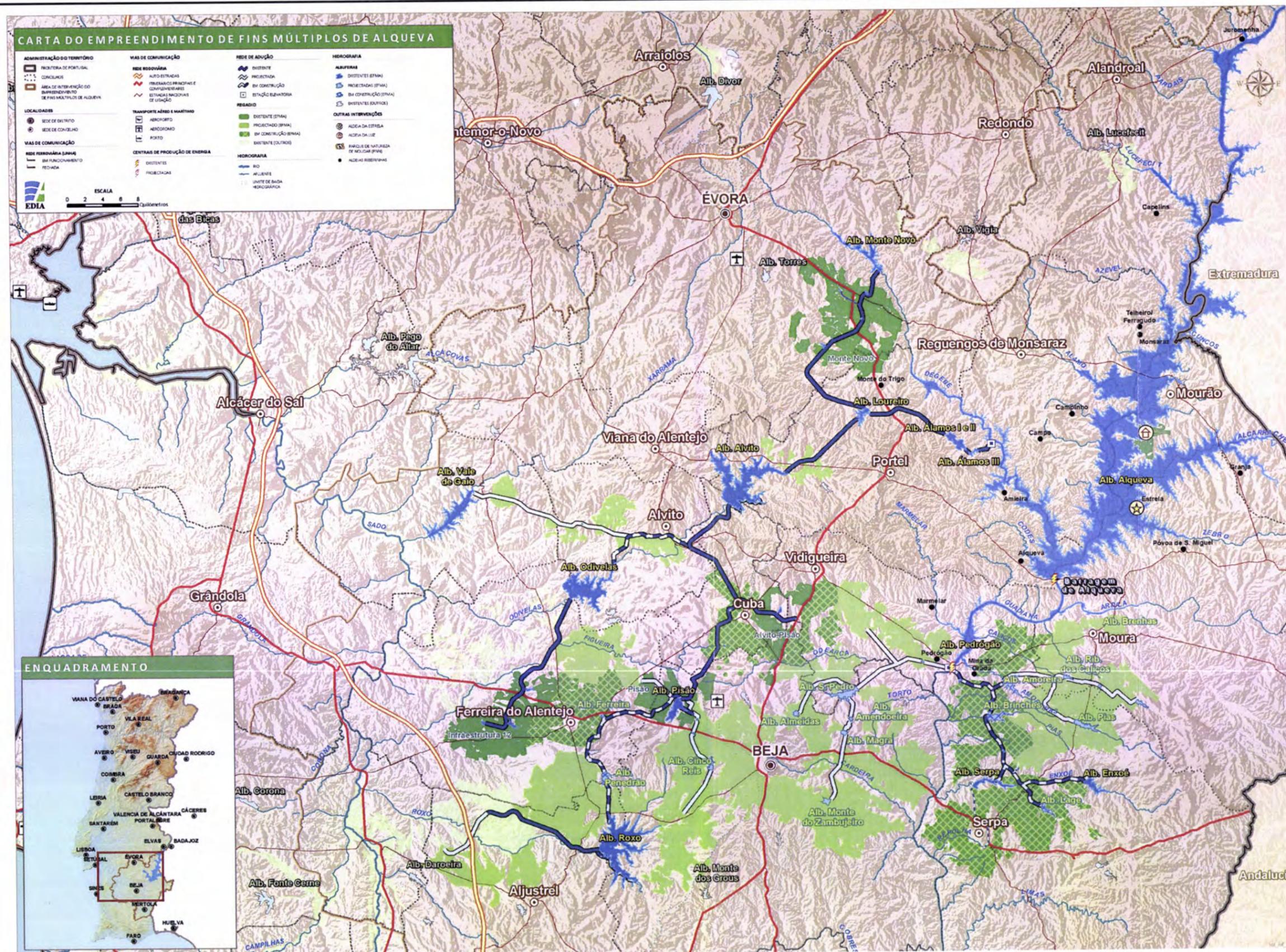


Figura 1: Carta global de enquadramento do empreendimento de fins múltiplos de Alqueva – EFMA. (Fonte: EDIA 2009)

A EDIA, de acordo com instruções recebidas, deu seguimento ao aprofundamento do referido Estudo Prévio e à execução dos projectos das diversas infra-estruturas. No ponto que se segue, faz-se uma breve caracterização dos três subsistemas que integram o EFMA, com particular incidência no Subsistema Alqueva, onde está implementada a barragem do Pisão.

2.1 - Subsistema Alqueva

O Subsistema de Rega de Alqueva é o maior dos três subsistemas que compõem o projecto de Alqueva e irá beneficiar com regadio uma área de cerca de 60 000 ha (v.d. Anexo I.I - Esquema de projecto da rede primária do subsistema de Alqueva - Fonte: EDIA 2010). Está também previsto, a partir deste, a satisfação das necessidades de água para consumo humano e industrial nos concelhos de Évora, Viana do Alentejo, Alvito, Cuba, Vidigueira, Alcácer do Sal, Ferreira do Alentejo, Aljustrel, Reguengos de Monsaraz, Mourão e Beja.

O subsistema tem a sua origem na margem direita da albufeira de Alqueva, na estação elevatória dos Álamos, dimensionada para uma potência de 42 MW e um caudal de bombagem de 41,4 m³/s. A água é então aduzida às albufeiras dos Álamos III, II e I pelo Canal Álamos-Loureiro, por onde é transportada à albufeira do Loureiro.

Na albufeira do Loureiro, têm origem 2 circuitos, um em direcção a Norte, o canal Loureiro-Monte Novo, com cerca de 24 km e um caudal nominal de 9,4 m³/s, que liga à barragem de Monte Novo, e outro para Sul, onde, pelo túnel Loureiro-Alvito, com 11 km de comprimento e um caudal nominal de 32 m³/s, abastece a albufeira do Alvito.

A jusante desta albufeira desenvolve-se o canal Alvito-Pisão, com 36 km de comprimento e caudal máximo inicial de 40,6 m³/s. Este canal chega próximo da barragem do Pisão, com um caudal máximo de 10,9 m³/s. Abastece ainda, graviticamente ao longo do seu traçado, o canal de Odivelas/Vale de Gaio, a zona regada pelo eixo Cuba-Vidigueira-Pisão, o adutor Pisão-Beja e o canal de ligação Pisão-Roxo.

O Adutor Odivelas-Vale de Gaio, com uma extensão de 30,34 km e caudal máximo inicial de 6,25 m³/s, faz a adução para as albufeiras de Odivelas e Vale de Gaio, fornecendo água aos blocos de Odivelas e Vale de Gaio.

O Adutor Pisão-Beja, com uma extensão de 3,07 km e caudal máximo inicial de 6,84 m³/s, desenvolve-se em conduta gravítica até ao reservatório do Álamo. Neste reservatório será construída uma estação elevatória que elevará a água, através de uma conduta elevatória, até ao reservatório de Beringel, de onde sairá uma conduta gravítica até à barragem de Cinco Reis.

A barragem do Pisão é, no essencial, uma infra-estrutura de armazenamento e regularização que cumprirá funções de alimentação dos blocos de rega do Pisão e Alfundão.

O Adutor Pisão-Roxo, com um comprimento de 18,85 km, termina na albufeira do Penedrão, abastecendo graviticamente ao longo do seu traçado a zona definida pelo eixo Pisão-Ferreira do Alentejo, a zona situada no eixo Ferreira do Alentejo-Ervidel e a oeste deste, a barragem do Roxo. O canal poderá ainda abastecer, em caso de rotura do sistema normal de distribuição, as zonas de jusante da Infra-estrutura 12, mediante descarga para a linha de água da barragem do Monte Branco.

A derivação para a Barragem do Roxo é iniciada a jusante da Barragem do Penedrão e é feita através de uma conduta gravítica dimensionada para um caudal

máximo de 5,7 m³/s e desenvolvimento de 4,8 km que termina numa central hidroelétrica na albufeira do Roxo.

As barragens que integram o Subsistema Alqueva encontram-se no Quadro 1:

Quadro 1: Barragens que integram o subsistema Alqueva.

Barragem	Fase	Bacia hidrográfica
Álamos I, II e III	Concluída	Guadiana
Loureiro	Concluída	Guadiana
Alvito	Pré existente (1979)	Sado
Odivelas	Pré existente (1972)	Sado
Vale de Gaio	Pré existente (1949)	Sado
Pisão	Concluída	Sado
Penedrão	Em fase de construção	Sado
Roxo	Pré existente (1968)	Sado
Cinco Reis	Em Projecto de Execução	Sado

2.2 - Subsistema Ardila

O subsistema Ardila situa-se na margem esquerda do Guadiana e é o segundo maior de todo o projecto Alqueva (v.d. Anexo I.II, - Esquema de projecto da rede primária do subsistema do Ardila - Fonte: EDIA, 2010). Está previsto regar uma área de cerca de 30 000 ha na margem esquerda do rio Guadiana, estando dividido em 4 circuitos hidráulicos:

- Circuito Hidráulico do Pedrógão Margem Esquerda;
- Circuito Hidráulico Brinches-Enxoé;
- Circuito Hidráulico de Serpa;
- Circuito Hidráulico Amoreira-Pias.

As barragens que integram o Subsistema Ardila encontram-se no Quadro 2:

Quadro 2: Barragens que integram o subsistema Ardila.

Barragem	Fase	Bacia hidrográfica
Furta Galinhas	Em estudo prévio	Guadiana
Amoreira	Concluída	Guadiana
Serpa	Concluída	Guadiana
Brinches	Concluída	Guadiana
Pias	Em estudo prévio	Guadiana
Lage	Em fase de construção	Guadiana
Enxoé	Pré existente (1999)	Guadiana
Caliços	Em estudo prévio	Guadiana

2.3 - Subsistema Pedrógão

O Subsistema Pedrógão é o mais pequeno de todo o sistema de rega do projecto Alqueva, desenvolvendo-se na margem direita do Guadiana e localizando-se a sua origem de água na margem direita da barragem de Pedrógão. A área total prevista para os perímetros de rega a beneficiar é de cerca de 22 000 ha (v.d. Anexo I.III- Esquema de projecto da rede primária do subsistema de Alqueva - Fonte: EDIA, 2010).

A adução ao subsistema do Pedrógão integra três circuitos hidráulicos fundamentais, definidos com base nos patamares principais de elevação existentes:

- Circuito hidráulico do Pedrógão;
- Circuito hidráulico de São Pedro;
- Circuito hidráulico de São Matias.

No Quadro 3, encontra-se referenciada a única barragem do Subsistema de Pedrogão.

Quadro 3: Barragem que integra o subsistema Pedrógão.

Barragem	Fase	Bacia hidrográfica
S. Pedro	Em estudo	Guadiana

3 - Aspectos relevantes do projecto de execução da barragem do Pisão

A concepção geral da barragem do Pisão foi condicionada pelas adversas condições geológicas e geotectónicas das fundações. O local da barragem é interferido pela falha da Messejana e o maciço de fundação apresenta um grau de degradação excepcionalmente elevado, traduzido pela intensa argilização até profundidades na ordem dos 30m. O grau de degradação é responsável pelas precárias características geomecânicas e muito baixa permeabilidade tendo conduzido à opção de uma solução de aterro para a barragem, com dispensa ao recurso de cortina de impermeabilização na fundação.

Por outro lado, e na fase de projecto, a pesquisa de terras para empréstimos foi dificultada pelas características geotécnicas insatisfatórias da maioria dos solos de alteração ocorrentes na área da albufeira. Acabaram por ser seleccionadas três manchas de empréstimo que permitiram, em projecto, conceber um perfil zonado com um núcleo central a executar com solos de baixa permeabilidade, provenientes da alteração residual dos gabros, vulcanitos, pórfiros ácidos e maciços laterais com solos semipermeáveis, resultantes da alteração dos pórfiros ácidos.

De acordo com o projecto de execução (Aqualogus e Tetraplano, 2003), a barragem do Pisão dará origem a uma albufeira com capacidade útil de $8,23 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ e área de inundação de $2,02 \text{ km}^2$. É uma barragem de aterro zonado com 14 metros de altura e 454 m de desenvolvimento do coroamento, que perfaz um volume total de aterro de $144\,000 \text{ m}^3$, com núcleo central argiloso e maciços estabilizadores com materiais mais permeáveis.

Os órgãos hidráulicos de segurança e exploração são o descarregador de cheias, com soleira em labirinto, a tomada de água e a descarga de fundo, estas constituídas pela torre de manobra e passadiço de acesso, conduta circular e câmara da válvula de jacto oco. (v.d. Anexo II.I - Barragem, planta geral - Fonte: Projecto de Execução).

No essencial, é uma infra-estrutura de armazenamento e regularização que receberá águas provenientes do canal Alvito-Pisão e cumprirá funções de alimentação dos blocos de rega do Pisão e Alfundão, aproveitando ainda as afluições da própria bacia hidrográfica.

3.1 - Recursos hídricos

A barragem do Pisão localiza-se junto a Beringel, a cerca de 10 km de Beja. A sua bacia hidrográfica tem uma área de 49 Km², com uma altitude média de 48,1 m.

Com base nos registos do posto climatológico de Beja, pode dizer-se que a zona da barragem do Pisão apresenta uma precipitação média anual de 606 mm, ocorrendo os maiores valores de precipitação nos meses de Outubro a Março e os de menor valor em Julho e Agosto.

De acordo com o projecto de execução (Aqualogus e Tetraplano, 2003), a estimativa do tempo de concentração da bacia hidrográfica foi efectuada por aplicação das fórmulas de Temez e do NERC (National Environment Research Council), tendo-se adoptado o tempo de concentração de 4,5 horas, com base nos valores obtidos para cada uma das sub-bacias e da bacia hidrográfica na barragem do Pisão.

Na utilização das series de precipitação, foram utilizados os postos udométricos que, de acordo com o método de Thiessen, influenciam a bacia hidrográfica da barragem do Pisão, isto é, os de Cuba (24J/03), Ferreira do Alentejo (25I/01) e Beja (25J/02).

Na utilização das séries de escoamento foi escolhida, pela proximidade com a bacia em estudo, número e qualidade dos registos na estação e semelhança das características físicas e geomorfológicas nas duas bacias hidrográficas, a estação hidrométrica de Entradas (271/01), para análise de cheias na bacia hidrográfica do Pisão.

A análise dos caudais médios diários na bacia hidrográfica da barragem do Pisão foi efectuada por transposição dos caudais registados na estação hidrométrica (EH) de Entradas, com base na relação de áreas entre a EH e a bacia hidrográfica definida no local da barragem.

No Quadro 4, apresentam-se os valores médios, de projecto, dos caudais diários e caudais diários máximos, para a bacia hidrográfica da barragem do Pisão.

Quadro 4: Valores médios dos caudais diários e caudais diários máximos na bacia hidrográfica da barragem do Pisão (Fonte: Projecto de execução, 2003)

Mês	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
Caudal médio diário (m ³ /s)	0,06	0,27	0,73	0,41	0,50	0,78	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Caudal médio diário máximo (m ³ /s)	0,87	2,42	5,66	3,87	3,41	2,76	1,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,02

Face aos caudais apresentados no Quadro 4, foi definido, de modo conservativo, o período de estiagem, que corresponde aos meses de Maio a Setembro, e o período húmido, correspondente aos meses de Outubro a Abril.

Na determinação dos caudais de ponta das cheias afluentes, utilizaram-se procedimentos fundamentados na análise de registos de precipitações diárias máximas anuais e também as curvas I-D-F estabelecidas pelo INAG, no caso concreto a estabelecida para o posto de Beja (Brandão *et al.* 2001).

A partir do cálculo das precipitações máximas com diferentes durações na bacia hidrográfica da barragem do Pisão e das correspondentes intensidades, procedeu-se à avaliação dos caudais de ponta de cheia mediante o recurso a fórmulas empírico-cinemáticas e, de entre estas, considerou-se a aplicação da fórmula racional.

No Quadro 5, estão representados os caudais de ponta de cheia obtidos.

Quadro 5: Caudais de ponta de cheia obtidos por aplicação da fórmula racional, para duração igual, dupla e tripla do tempo de concentração e período de retorno de 1000 anos (Fonte: Projecto de execução, 2003).

	t = tc		t = 2 tc		t = 3 tc	
	i (mm/h)	Q (m ³ /s)	i (mm/h)	Q (m ³ /s)	i (mm/h)	Q (m ³ /s)
Análise estatística de precipitações diárias máximas	12,5	119	8,0	77	6,2	59
Curva I-D-F de Beja	16,0	196	9,4	115	6,8	84

Da análise do Quadro 5, pode verificar-se que os valores dos caudais de ponta de cheia obtidos pela curva I-D-F de Beja foram superiores aos obtidos pela análise estatística de precipitações máximas diárias. Esta situação foi explicada pelo facto da determinação das precipitações estar menos sujeita a erro no caso de se utilizar a curva I-D-F de Beja, uma vez que foram utilizados valores observados de precipitações com durações inferiores a 24 horas, não sendo utilizada neste caso qualquer metodologia, como ocorreu na determinação das linhas de possibilidade udométrica, onde as precipitações de duração inferior a 24 horas foram obtidas por repartição da precipitação diária máxima anual. Desta forma, a determinação de hietogramas de cheia afluentes à barragem do Pisão foi efectuada com base nas precipitações de projecto obtidas a partir desta curva I-D-F, utilizando o hidrograma unitário, HU, do Soil Conservation Service (McCuen, 1982) e por aplicação deste, às precipitações de projecto, atrás mencionadas, com o programa HEC-1 (U.S.Army Corps Of Engineers, 1990).

Os caudais/tempo afluentes obtidos estão apresentados na Figura 2, que contém ainda a especificação dos correspondentes caudais de ponta de cheia, Q_p .

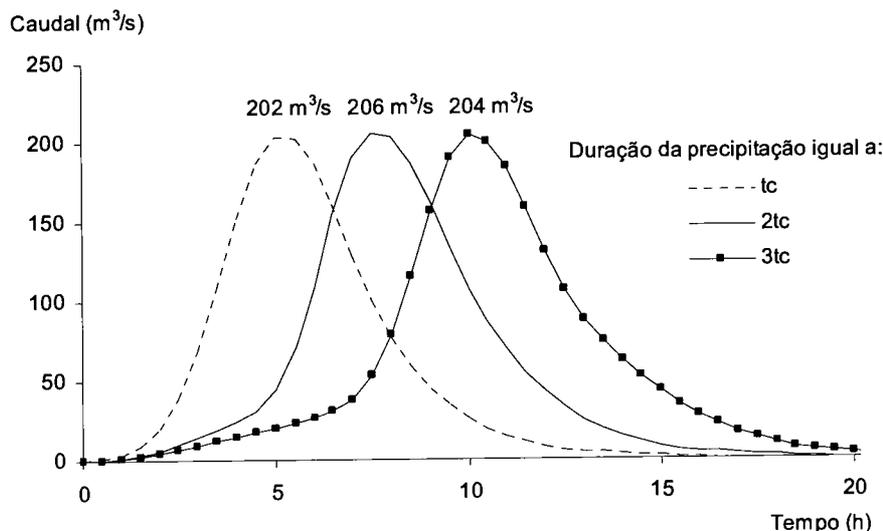


Figura 2: Hidrogramas de cheia afluentes para a duração da precipitação igual, dupla e tripla do tempo de concentração (Fonte: Projecto de execução, 2003).

Em termos de volumes de cheia afluentes, obtiveram-se de projecto $3,53 \times 10^6$, $4,12 \times 10^6$ e $4,53 \times 10^6$ m³, respectivamente, para a duração da precipitação igual, dupla e tripla do tempo de concentração. O hidrograma relativo a uma precipitação com duração tripla do tempo de concentração (13,5 horas), a que corresponde um caudal de ponta de 204 m³/s e o volume de cheia de $4,53 \times 10^6$, foi o utilizado no estudo do amortecimento da onda de cheia na albufeira e no dimensionamento do descarregador de superfície.

3.2 – Condições geológicas - geotécnicas

A barragem do Pisão está localizada na zona tectono-estratigráfica de Ossa Morena e, dentro desta, no maciço de Beja. Na Figura 3, apresenta-se a carta Geológico-Estrutural, realizada com base na Carta Geológica 1:200000, folha 8, dos Serviços Geológicos de Portugal (Oliveira *et al.* 1992) à qual se integrou o desenho da albufeira, o local da barragem e as áreas das manchas de empréstimo. Da leitura desta carta, pode-se observar que o local da barragem se situa num domínio de metavulcanitos básicos ($V\beta 1$), imediatamente a jusante da falha da Messejana e dos gabros de Beja (τ), que constituem o substrato da albufeira.

A tectónica que caracteriza o Maciço é complexa, e é a falha designada por Messejana, que atravessa todo o território alentejano com orientação NE-SW, a estrutura tectónica que desempenha um papel condicionante das características geotécnicas locais, nomeadamente na degradação sofrida pelo substrato afectado por esta falha.

O projecto de execução (Aqualogus e Tetraplano, 2003), referencia também o facto de, tratando-se de uma falha activa, esta estrutura introduzir um condicionamento dinâmico enquanto sede de sismos ou enquanto zona frágil especialmente susceptível de reagir a sismos induzidos a partir de outros locais.

3.2.1 Caracterização geotécnica do local da barragem e sua fundação

Os trabalhos de reconhecimento na fase de projecto, permitiram delinear o zonamento geotécnico, apresentado na Figura 3.

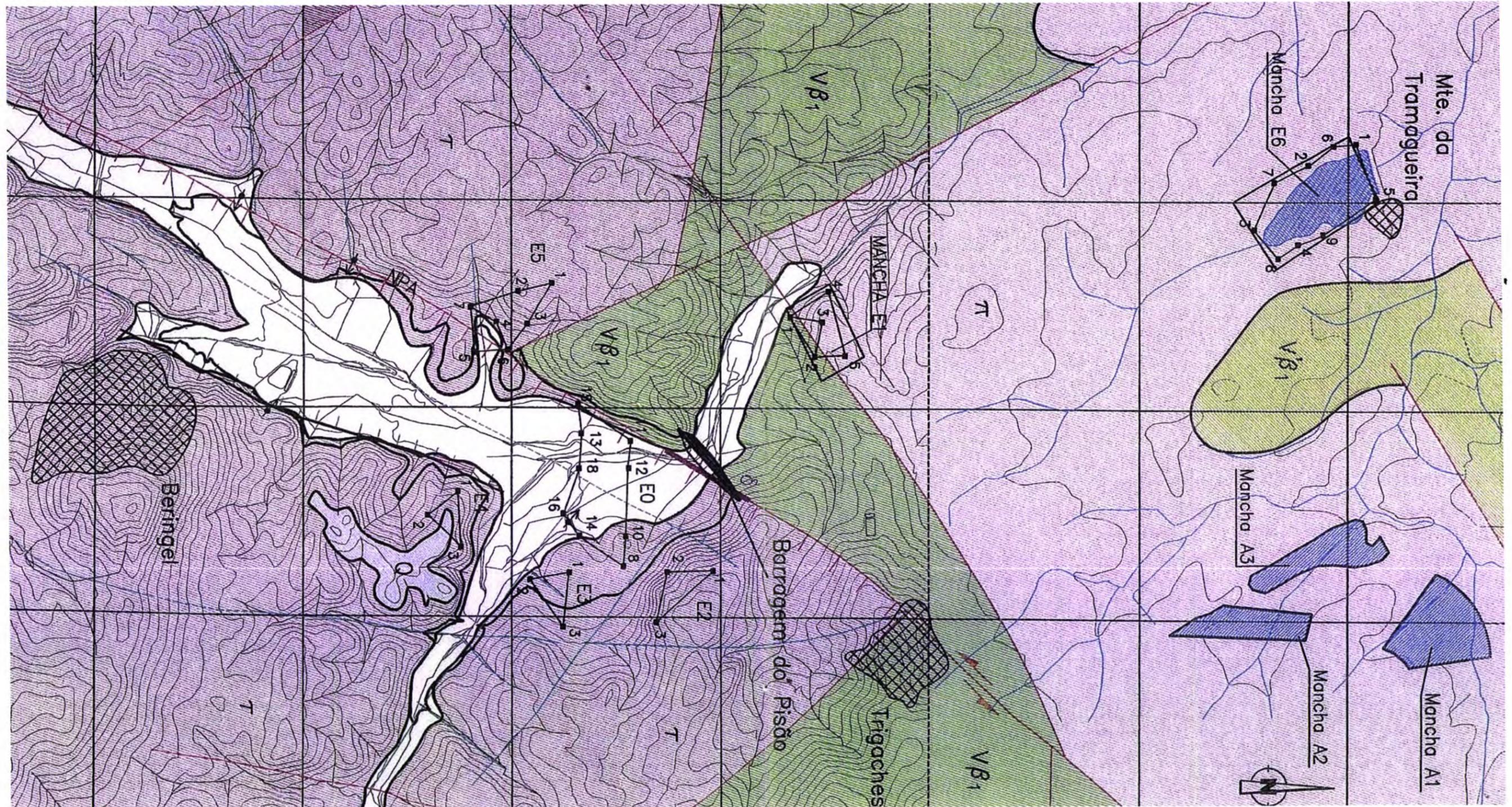


Figura 3: Carta Geológico-estrutural integrando a albufeira, o local da barragem e as áreas de empréstimo de terras E0;E1;E2;E3;E4;E5;E6;A1;A2 e A3 (Fonte: Projecto de execução, 2003).

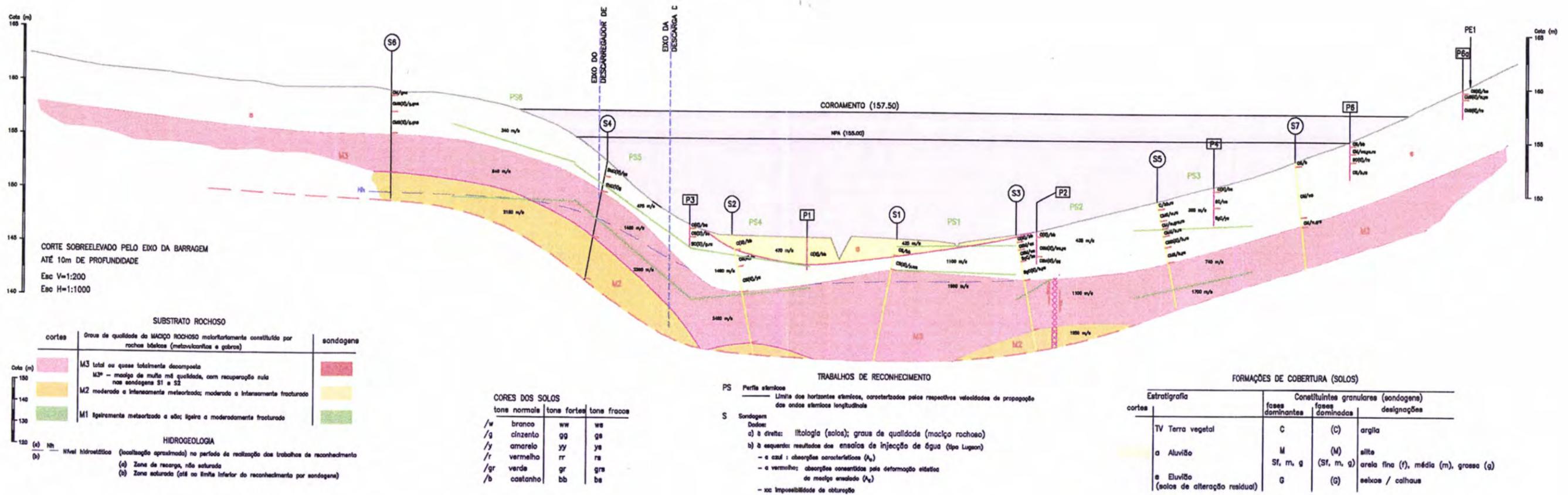


Figura 4: Local da barragem. Corte pelo eixo com zonamento geotécnico (Fonte: Projecto de execução, 2003).

Ao conjunto dos terrenos de cobertura (aluvião e eluvião) e do horizonte M3 do substrato (total ou quase totalmente decomposto) designou-se por zona geotécnica superior (ZGS). Esta é a mais importante das zonas geotécnicas consideradas, não só porque constitui a maior parte da fundação interessada pela barragem, mas também porque exhibe fracas características gerais de resistência. Dada a sua grande representação, o projecto diferenciou-a em sub-zonas, com o objectivo de mostrar alguma evolução das características geotécnicas ou de alguma estrutura do maciço rochoso que nelas se reflectisse. Foi assim que se distinguiram as sub-zonas ZGS3, ZGS2 e ZGS1.

Segundo o projecto de execução (Aqualogus e Tetraplano, 2003), a sub-zona ZGS3, a mais superior das três no corte da Figura 4, é constituída por solos areno silto argilosos, por vezes com cascalho abundante, e deve encontrar-se a maior parte do ano acima do nível freático, pelo que se encontra sub-saturada. Identifica-se, quase por inteiro, com o horizonte sísmico superior, cujas velocidades sísmicas, em regra, não ultrapassaram 500 m/s.

A sub-zona ZGS2, menos espessa no bloco ascendente que no bloco descendente, é constituída por rochas decompostas ou solos coerentes. Previa-se, no projecto de execução, que se deveria encontrar saturada e identifica-se com o horizonte sísmico médio, do fundo do vale e da vertente direita, cujas velocidades sísmicas, variam entre 700 e 1100 m/s.

A sub-zona ZGS1, a de maior desenvolvimento vertical das três sub-zonas, é constituída, como a anterior, por rochas decompostas ou solos coerentes e também, no projecto de execução, se previa que esta deveria estar saturada. Distingue-se da anterior,

em particular, pelas velocidades sísmicas mais elevadas, entre 1700 e 2000 m/s, facto que é indicativo de maior compacidade.

Na zona geotécnica ZGM ainda prevalece o maciço rochoso muito alterado, com graus de meteorização W5 e W4. Esta zona, foi identificada com o horizonte sísmico médio da vertente esquerda, com velocidades sísmicas entre 800 e 1300 m/s. É uma zona típica de transição para o substrato rochoso moderadamente a pouco alterado (com grau de meteorização W3 ou inferior) que ocorre na zona geotécnica inferior, ZGI e que se identifica com o horizonte sísmico inferior da vertente, cujas velocidades sísmicas variam, na parte que foi reconhecida, entre 2100 e 2500 m/s.

Apesar das diferenciações geotécnicas descritas, conclui-se no, projecto de execução, que todo o maciço de fundação se apresenta pouco diferenciado no que respeita ao comportamento hidráulico e que este responde de forma pouco variada às pressões de água instaladas nos ensaios de injeção tipo Lugeon, deformando-se regularmente e rompendo com facilidade desde que aquelas pressões ultrapassem valores equivalentes induzidos pelos terrenos subjacentes. Concluiu-se também que este comportamento hidráulico e mecânico pouco variado não deveria, porém, significar uniformidade geotécnica da fundação da barragem.

A fundação da barragem foi prevista ocorrer nos solos areno-silto- argilosos da sub-zona geotécnica ZGS3 e a existência de algumas ocorrências arenosas entre os materiais constitutivos da ZGS3 foi a razão para que o projecto de execução recomendasse um saneamento mais profundo na zona do núcleo da barragem, beneficiando assim também de uma melhor ligação do núcleo à fundação.

A permeabilidade da fundação na (ZGS3) é, de acordo com os ensaios de injeção de água efectuados a partir de 4 m de profundidade, da ordem de 10^{-7} m/s, pelo

que, no projecto de execução, se considerou dispensável prever uma cortina de impermeabilização.

3.2.2 Empréstimos para o aterro da barragem

Os materiais a seleccionar para utilização na construção da barragem são, no essencial, solos para construção do aterro, materiais granulares para filtros, drenos e materiais rochosos para enrocamentos.

No referente a solos para a construção do aterro, foi dada prioridade, de projecto, ao estudo dos materiais que ocupam a área da albufeira e que resumidamente se descreve:

- 1.^a Etapa: estudo da área elementar E0, no interior do perímetro da albufeira (Figura 3). Dominam solos argilosos, de aluvião, resultantes do transporte e deposição de solos de origem gábrica.

Foram efectuados nove poços, em sete dos quais foram colhidas amostras que se sujeitaram a ensaios de identificação geotécnicas e de compactação.

- 2.^a Etapa: estudo das áreas elementares E1, a jusante da barragem e das áreas E2, E3, E4 e E5, na periferia da albufeira (Figura 3). Nesta área, tem total continuidade a cobertura de solos de alteração residual de gabros. Apenas a mancha E1 se situa no domínio dos vulcanitos e, em parte, no domínio de pórfiros ácidos. Foram efectuados três poços em cada uma das áreas elementares, com amostragem de solos em cada um dos horizontes atravessados.

- 3.^a Etapa: alargamento do reconhecimento das áreas elementares E1 e E5 e, simultaneamente, reconhecimento na periferia da pequena albufeira do

Monte da Tramagueira (área elementar E6 representada na Figura 3). Executaram-se assim, mais dois poços na área E1 alargada e mais quatro poços na área E5 alargada. Na área E6, abriram-se inicialmente cinco poços e posteriormente mais quatro.

3.2.2.1 Materiais para o núcleo e maciços estabilizadores

Foram seleccionados para os materiais do núcleo, que no projecto de execução, receberam a denominação de material tipo 1, preferencialmente solos de alteração residual de vulcanitos e pórfiros ácidos da área de empréstimo E1, localizada 0,8 km a jusante do local da barragem (Figura 3), indicando disponibilidades de exploração da ordem de 200 000 m³. Em alternativa, consideraram-se ainda como exploráveis, também para o núcleo, os solos de alteração dos gabros da área de empréstimo E5, localizada na vertente esquerda, na periferia da albufeira, a cerca de 1,2 km da barragem (Figura 3), com disponibilidades previstas de cerca de 200 000 m³.

Em ambas as manchas, o projecto de execução, menciona que foram abertos poços de reconhecimento, com recolhas de amostras remexidas, para realização de ensaios laboratoriais de identificação e de caracterização mecânica e hidráulica.

A compactação de materiais a colocar na zona do núcleo da barragem e na vala corta-águas, estava prevista, no projecto de execução, ser executada com um teor em água médio próximo do teor em água óptimo do ensaio Proctor normal, sendo a faixa de tolerância entre teor óptimo ($W_{ópt}$) -0,5% e o ($W_{ópt}$) +1,5%, devendo o valor médio situar-se próximo do teor em água óptimo. O grau de compactação deveria ser superior a 98 % relativamente ao ensaio Proctor normal e com um desvio padrão inferior a 3 %. Na Figura 5, está representado o fuso granulométrico para estes materiais.

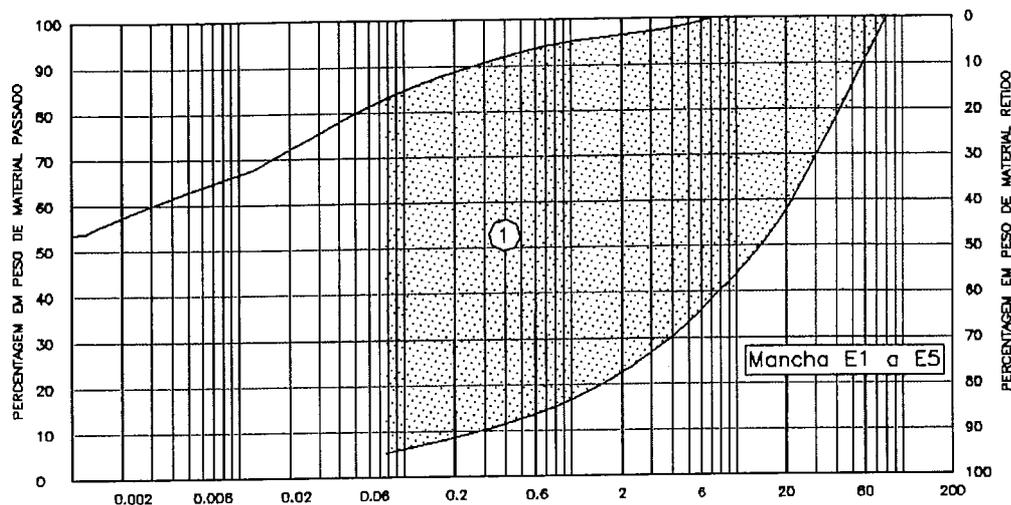


Figura 5: Fusão granulométrica para os materiais a utilizar no núcleo, tipo.(Fonte: Projecto de execução, 2003).

Para materiais dos maciços de montante e jusante, que no projecto receberam a denominação de material tipo 2, foram seleccionados os solos de alteração residual dos pórfiros ácidos da área de empréstimo E6, localizadas na periferia do Monte da Tramagueira (Figura 3), com disponibilidades de exploração, estimadas em projecto de execução, da ordem de 400 000 m³.

A compactação dos solos a colocar no maciço de montante, estava prevista, no projecto de execução, ser executada com um teor em água médio de compactação igual ao teor em água óptimo do ensaio de compactação de referência, com uma faixa de tolerância do $W_{ópt} - 1\%$ a $W_{ópt} + 1\%$.

A compactação dos solos a colocar no maciço de jusante da barragem, indicou-se em projecto, que deveria ser executada com um teor em água médio de compactação ligeiramente inferior ao teor em água óptimo do ensaio de compactação de referência e com a faixa de tolerância entre o $W_{ópt} - 1,5\%$ a $W_{ópt} + 0,5\%$.

Nos contactos com a fundação e com estruturas de betão, a faixa de tolerância indicada, deveria estar compreendida entre o $W_{ópt} - 0,5\%$ a $W_{ópt} + 1,5\%$, devendo o

valor médio situar-se próximo do limite máximo. O grau de compactação deveria ser superior a 98% relativamente ao ensaio Proctor Normal e com um desvio padrão inferior a 3%.

Na Figura 6, está representado o fuso granulométrico para estes materiais.

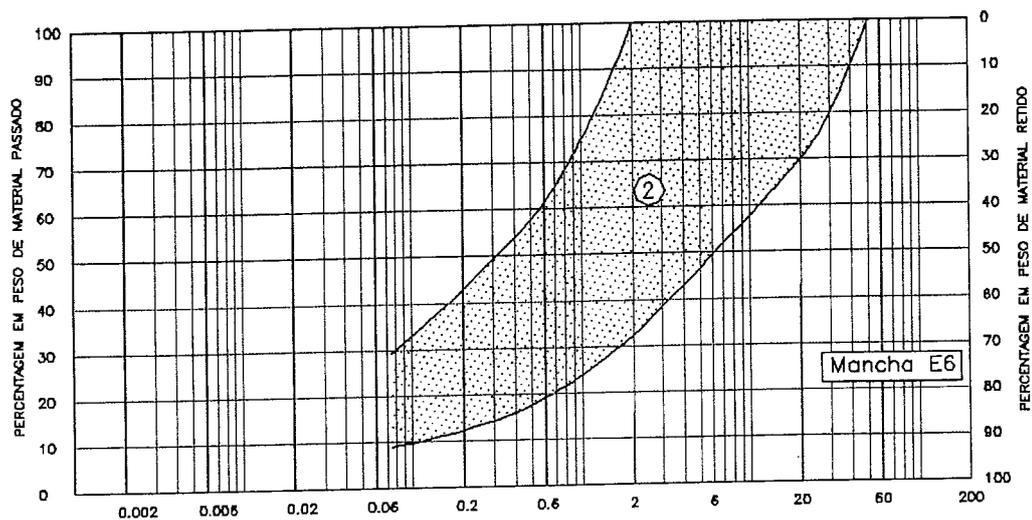


Figura 6: Fuso granulométrico para os materiais a utilizar nos maciços, tipo 2. (Fonte: Projecto de execução, 2003).

Em termos de identificação geotécnica e de compactação, os materiais seleccionados apresentam as características que se indicam no Quadro 6.

Quadro 6: Características geotécnicas das áreas E1;E5 e E6; (Fonte: Projecto de execução, 2003).

Solos para:	Áreas de empréstimo	Granulometrias			Limites consistência		Compactação	
		Argila+Silte (%)	Areia (%)	Cascalho (%)	LL (%)	IP (%)	$\gamma_{d\max}$ (kN/m ³)	w_{opt} (%)
Núcleo	E1	8 a 62	12 a 65	8 a 80	27 a 49	6 a 26	16 a 19	14 a 24
	E5	30 a 91	11 a 51	4 a 44	30 a 52	10 a 21	15 a 18	17 a 29
Maciço	E6	9 a 31	31 a 80	4 a 52	<43 e NP	13 e NP	17 a 19	11 a 19

3.2.2.2 Materiais para filtros, drenos e enrocamentos

No projecto, previu-se recorrer aos areeiros de S^{ta} Margarida do Sado para fornecimento do material para filtros, que recebeu a denominação de material tipo 3. O fuso granulométrico deveria obedecer às condições que se apresentam no Quadro 7.

Quadro 7: Diâmetros característicos e dimensão das partículas do material tipo 3 a aplicar nos filtros da barragem (Fonte: Projecto de execução, 2003).

Diâmetros característicos	Dimensões das partículas (mm)
D ₁₀₀	6 - 10
D ₈₅	4,5 - 7,5
D ₅₀	2 - 4
D ₁₅	0,3 - 1
D ₀	0,06 - 0,6

Os materiais para drenos e enrocamento previstos, que no projecto receberam a denominação de material tipo 4 e 5, respectivamente, deveriam ser provenientes de pedreiras de gabros em exploração próximo de Beringel, junto à EN52, com o fuso granulométrico do material a obedecer às condições que constam na Figura 7.

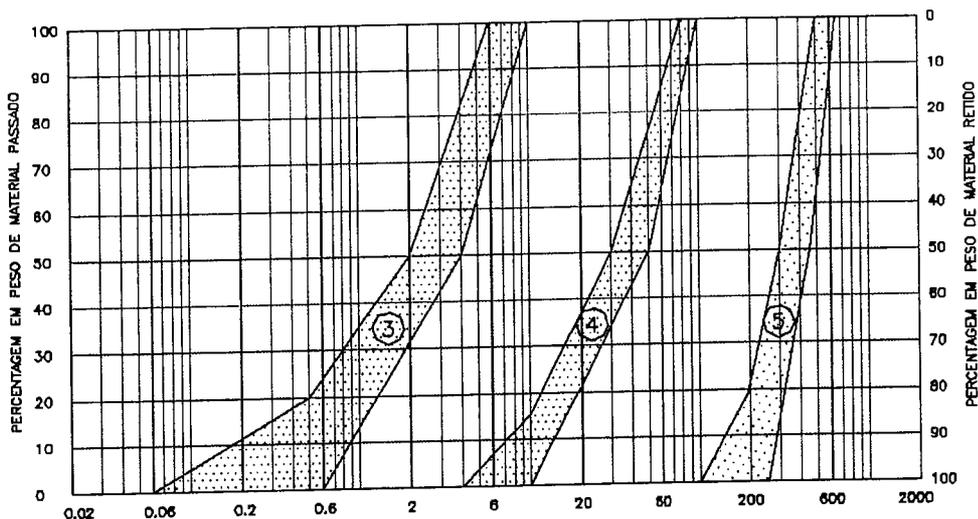


Figura 7: Fuso granulométrico para os materiais a utilizar nos filtros drenos e enrocamentos, tipo 3,4 e 5. (Fonte Projecto de execução, 2003).

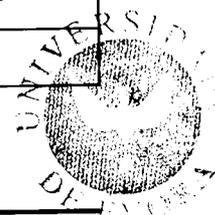
3.3 - Conceção geral e características das obras

3.3.1 Características gerais da obra

O Quadro 8 compila, com base no projecto de execução e de um modo sumário, algumas das principais características da albufeira e barragem do Pisão.

Quadro 8: Principais características da albufeira e barragem do Pisão (Fonte: Projecto de execução, 2003)

Bacia hidrográfica		- Curso de água: ribeira do Pisão - Área da bacia hidrográfica: 49 km ²
Hidrologia		Caudais de cheia: T = 10 anos : 90 m ³ /s T = 50 anos: 122 m ³ /s T = 1 000 anos: 222 m ³ /s
Albufeira		- Nível de pleno armazenamento, NPA: 155,00 - Nível de máxima cheia, NMC: 156,00 - Nível mínimo de exploração, NmE: 150,00 - Volume total de armazenamento (NPA): 8,23×10 ⁶ m ³ - Área inundada: 2,02 km ²
Barragem		- Tipo: Terra com perfil zonado - Altura máxima acima do leito: 13,80 m - Cota do coroamento: 157,50 - Desenvolvimento do coroamento: 454 m - Largura do coroamento: 8 m - Volume do corpo da barragem: 144 000 m ³
Órgãos hidráulicos	Descarregador de cheias	- Tipo: Soleira em labirinto com 2 módulos - Caudal de cheia efluente (T=1000 anos): 120 m ³ /s - Desenvolvimento da soleira: 80,15 m - Cota da crista: 155,00 - Comprimento do canal de descarga: 75 m - Largura do canal de descarga: 6,00 m - Estrutura de dissipação de energia: bacia de dissipação de energia por ressalto, tipo III BUREC
	Tomada de água e descarga de fundo	- Tomada de água para adução à cota 147,00 com comporta vagão de 2,0 × 2,0 m ² accionada por servomotor; grelha metálica amovível de 3,3 x 2,0 m ² com barras de 8 mm de espessura e espaçamento livre de 80 mm, podendo ser instalada no seu lugar uma comporta ensecadeira de iguais dimensões; - Tomada de água para descarga de fundo à cota 146,00 com comporta vagão de 1,00×1,50 m ² accionada por servomotor; grelha metálica amovível de 1,00 x 2,80 m ² com barras de 8 mm de espessura e espaçamento livre de 50 mm; podendo ser instalada no seu lugar uma comporta ensecadeira de iguais dimensões; - Conduta circular de aço com 2,50 m de diâmetro e 156 m de extensão, com derivação de 0,80 m de diâmetro no troço final para a descarga de fundo.
	Estrutura de saída da descarga de fundo	- Válvula de jacto oco motorizada de DN 800 mm e válvula de borboleta de igual diâmetro a montante; - Conduta de DN 300 mm munida de duas válvulas de cunha para esvaziamento da conduta abaixo da cota do eixo da válvula de jacto oco; - Conduta de DN 65 mm munida de duas válvulas de macho esférico para derivação do caudal ecológico.
	Desvio provisório	Tipo: conduta de tomada de água e descarregador de cheias; Caudal de dimensionamento (T=10 anos): 90 m ³ /s



3.3.1.1 Barragem

Como referido no início deste capítulo, a barragem do Pisão tem uma altura máxima acima da fundação de 14 m, sendo constituída por um perfil zonado com filtro a montante e a jusante do núcleo, conforme está representado na Figura 8. Este filtro, a montante, destina-se a proteger o núcleo nas situações de esvaziamento da albufeira e sob actuação de acções sísmicas.

A protecção do paramento de montante, que apresenta uma inclinação no paramento exterior constante de 1:2,75 (V:H), contra a acção das ondas geradas na albufeira pelo vento, foi assegurada por uma camada de enrocamento, colocada sobre uma camada de transição (material 4), que assegura as condições de filtro entre aquele e o maciço de montante.

A protecção do paramento de jusante, que possui uma inclinação constante de 1:2,25 (V:H) sendo interrompida por duas banquetas, é garantida por um revestimento vegetal. Na base do talude e na banqueta localizam-se valetas para escoamento das águas das chuvas, desaguando em duas descidas perpendiculares a este e terminando na base da barragem junto ao dreno de pé.

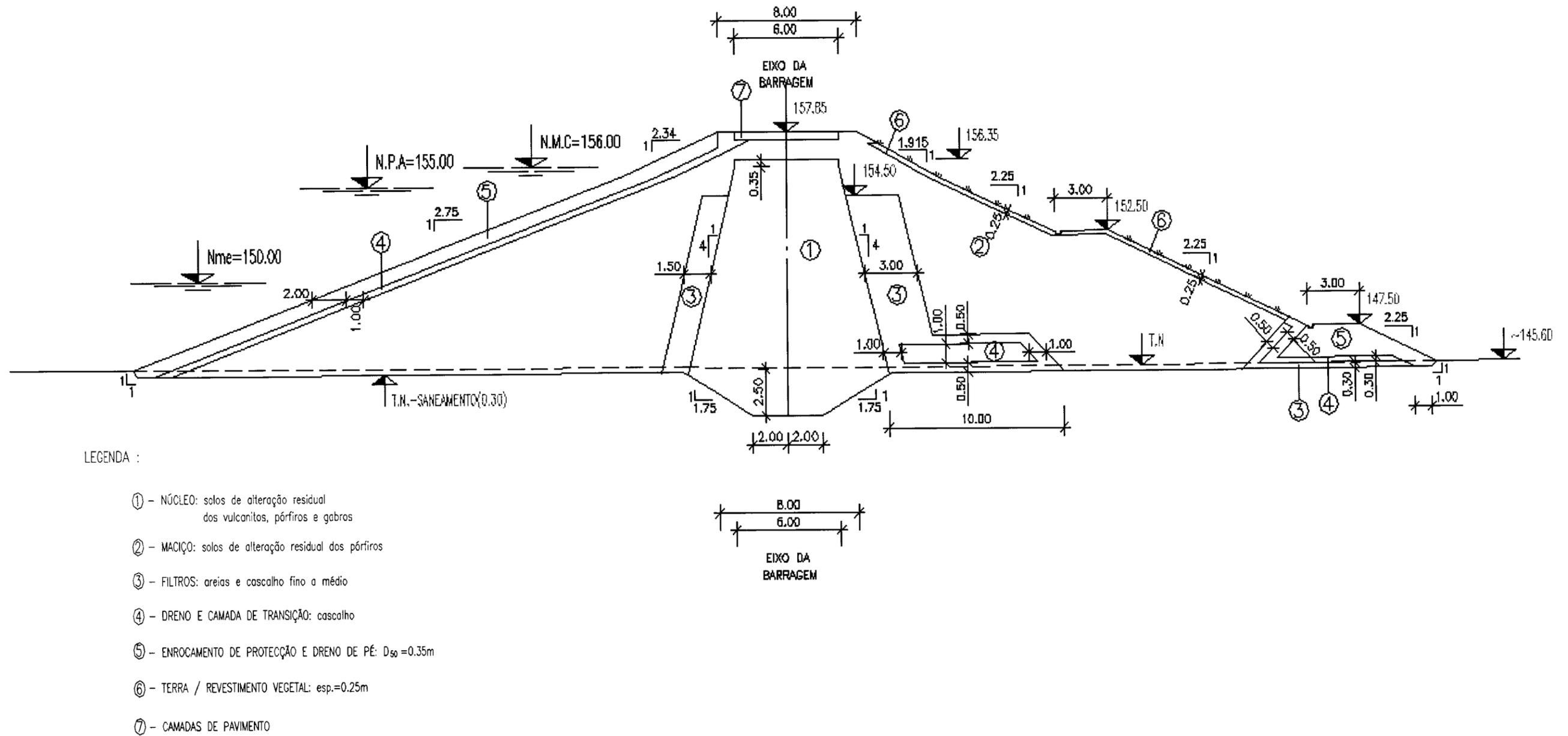


Figura 8: Perfil transversal esquemático (Fonte: Projecto de execução, 2003)

A fundação da barragem deveria ser isenta de solo orgânico e raízes, pelo que foi previsto, em projecto, um saneamento da ordem de 0,30 m. Sob o núcleo deveria ser aberta uma vala corta-águas, com profundidade variável entre 1,50 e 2,50 m, consoante a altura de aterro e o estado de alteração da fundação.

O sistema de drenagem principal é constituído por um filtro/dreno de areia com 3 m de largura, desde a cota 154,50, a jusante do núcleo. Na sua base, localiza-se um dreno colector com largura variável entre 6 e 10 m, constituído por uma camada com 1 m de espessura de brita, envolta em areia de filtro, a fim de garantir a transição quer para a fundação, quer para os materiais do maciço de jusante.

No fundo do vale, existe um tapete colector (Figura 9) constituído igualmente por brita (dreno) envolta em areia (filtro), com início no paramento de jusante do núcleo e terminando no dreno de pé. Este tapete possui uma inclinação correspondente à inclinação média da ribeira.

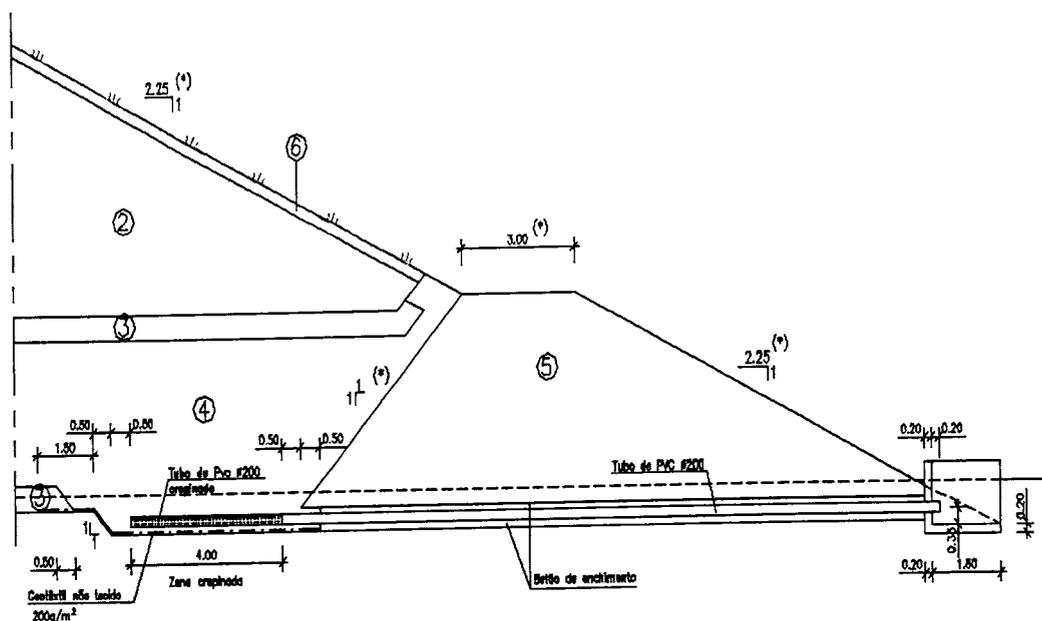


Figura 9: Pormenor, a jusante, do tapete colector e dreno de pé (Fonte: Projecto de execução, 2003).

O sistema de drenagem secundário destina-se a recolher as águas pluviais provenientes do paramento de jusante da barragem e das vertentes e a encaminhá-las para a ribeira. Este sistema é constituído por uma valeta em meia cana de 0,30 m no intradorso da banquetta à cota 152,50 e por outra valeta na inserção do talude de jusante no terreno natural, acima do dreno de pé. Na margem esquerda esta valeta prolonga-se ao longo do muro lateral do descarregador de cheias.

O coroamento da barragem tem 8 m de largura e 454 metros de comprimento, tendo cada via de rodagem uma inclinação de 2,5 % no sentido do extradorso, processando-se a drenagem das águas afluentes a montante e a jusante através de sumidouros e drenos em PVC. O projecto previu também uma guarda de betão a montante e uma guarda metálica a jusante.

3.3.1.2 Descarregador de cheias

O descarregador de cheias da barragem do Pisão, na vertente esquerda da ribeira do Pisão, é constituído por :

- Soleira descarregadora tipo labirinto;
- Canal de descarga rectangular em betão;
- Estrutura de dissipação de energia.

O descarregador foi dimensionado considerando o amortecimento da cheia afluyente com período de retorno de 1000 anos, que apresenta um caudal de ponta de 222 m³/s. O caudal máximo descarregado é de 120 m³/s, situando-se o NMC à cota 156,00. A soleira descarregadora (Fotografia 1), é do tipo labirinto com dois módulos. A crista do labirinto situa-se à cota 155,00 (NPA), apresentando um desenvolvimento útil de 80,15 m e uma altura de 3,00 m. Em planta, os muros que delimitam lateralmente a

soleira são divergentes para montante, encontrando-se distanciados de 18 m. A plataforma de entrada, a montante do labirinto, é horizontal à cota 152,00.

Imediatamente a jusante da soleira, inicia-se o canal de descarga em troço convergente na transição da soleira passando a canal de secção rectangular, com largura de 6 m (Fotografia 1).



Fotografia 1: Vista de montante e para jusante do descarregador de superfície.

Este troço inicial apresenta um comprimento de 20 m e um declive de 10,15%. Após o convergente, o canal desenvolve-se numa extensão de cerca de 45 m, com inclinação de 10,15%. A altura dos muros do canal é variável com um mínimo de 3,10 m, sendo que, desde a estrutura de entrada até à travessia da barragem, os muros se situam à cota do coroamento 157,50 (altura máxima de cerca de 7,6 m). Com a altura adoptada para os muros do canal, a folga disponível é superior à definida pelo BUREC em função da altura e da velocidade do escoamento (mínimo 1,0 m).

O troço terminal do canal, com cerca de 10 m de extensão, de ligação à estrutura de dissipação de energia, apresenta muros divergentes para jusante (passando o canal de 6,00 m de largura no início deste troço, para 8 m) e o rasto com traçado circular em perfil.

Para a estrutura de dissipação de energia, o projecto adoptou uma bacia de dissipação de energia por ressalto hidráulico do tipo III do BUREC, munida com blocos de queda, blocos de amortecimento e soleira contínua a jusante. A bacia de dissipação, com o fundo à cota 140,50, tem um comprimento de 15 m e uma largura de 8 m. Os muros laterais situam-se à cota 147,85. A zona a jusante da bacia de dissipação será protegida com colchões do tipo “Reno” com 0,30 m de espessura, preenchidos por material com diâmetro médio de 0,125 m.

3.3.1.3 Desvio provisório

De acordo com os estudos hidrológicos, o projecto de execução, considerou de forma conservativa, o período de estiagem correspondente a 5 meses (Maio a Setembro) e o período húmido a 7 meses (Outubro a Abril).

O esquema de derivação provisória, previsto depende da data de consignação da obra. Com a consignação a ocorrer em período húmido (consignação em Janeiro), a derivação provisória funcionaria durante um período de estiagem e um período húmido. No caso de a consignação ocorrer em período de estiagem (consignação em Julho), previa-se a derivação provisória da ribeira por apenas um período de estiagem. Em ambos os casos, seria a conduta de tomada de água (2,5 m de diâmetro) a funcionar como conduta de desvio provisório.

Considerando a derivação provisória em período húmido, o caudal de dimensionamento do desvio provisório, previsto no projecto de execução, corresponde ao caudal com período de retorno de 10 anos – 90 m³/s. No Quadro 9, apresentam-se os caudais correspondentes aos períodos de retorno de 2 a 50 anos.

Quadro 9: Caudais correspondentes aos períodos de retorno de 2, 5, 10 e 50 anos (Fonte: Projecto de execução, 2003)

Período de retorno (anos)	Caudais (m ³ /s)
2	55
5	76
10	90
50	122

O caudal de dimensionamento deverá ser escoado em parte pelo descarregador de cheias, que também funcionaria como desvio provisório conjuntamente com a conduta de tomada de água. No caso da derivação provisória funcionar apenas em período de estiagem, os caudais afluentes à secção da barragem deveriam ser escoados apenas pela conduta da tomada de água. Na Figura 10, apresenta-se a curva de vazão do desvio provisório, bem como o volume de aterros a construir para se atingir uma determinada cota na barragem.

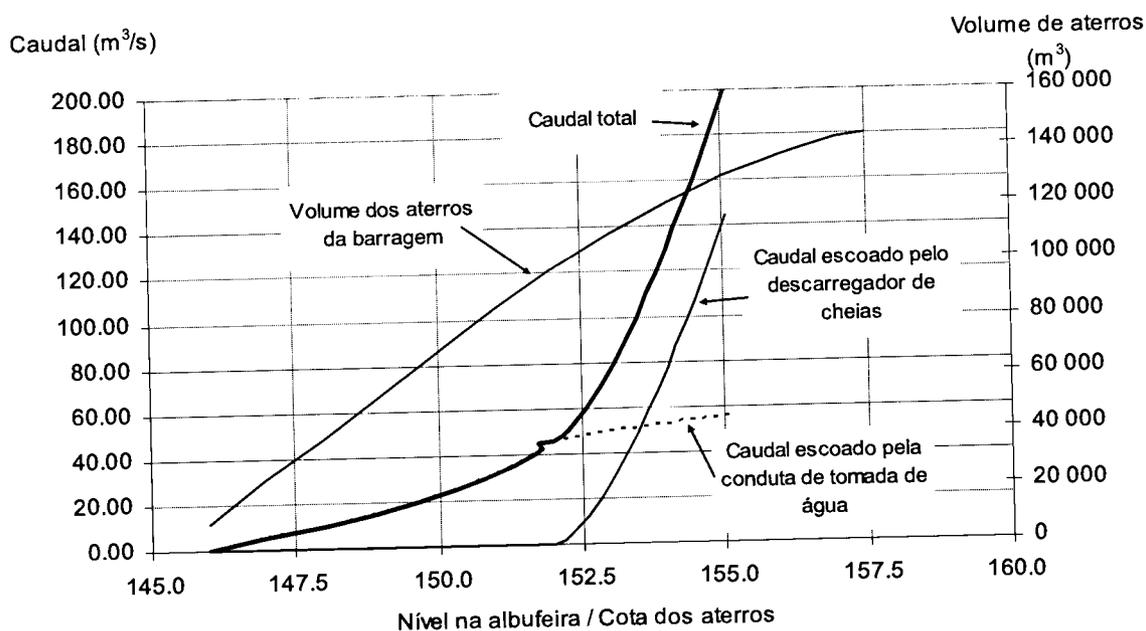


Figura 10: Curva de vazão do esquema de desvio provisório e volume de aterros em função da cota da barragem. (Fonte: Projecto de execução, 2003).

Da análise da Figura 10, verifica-se que, para caudais até 42 m³/s (nível na albufeira, 151,79), o escoamento ocorre com superfície livre através da conduta de tomada de água, entrando este em pressão para caudais compreendidos entre 42 e 46 m³/s. Os caudais superiores a 46 m³/s (nível na albufeira 152,00) são escoados através da conduta de tomada de água e do descarregador de cheias (soleira à cota 152,00).

No Quadro 10, são indicados os caudais escoados pela conduta de tomada de água e pelo descarregador de cheias e os níveis na albufeira para os caudais com período de retorno de 2, 5, 10 e 50 anos.

Quadro 10: Níveis da albufeira correspondentes aos caudais com período de retorno de 2, 5, 10 e 50 anos (Fonte: Projecto de execução, 2003)

Período de retorno	Caudal	Caudal escoado pela conduta de desvio provisório	Caudal escoado pelo descarregador de cheias	Nível na albufeira (m)
2 anos	55 m ³ /s	47,4	7,6	152,42
5 anos	76 m ³ /s	49,3	26,7	152,98
10 anos	90 m ³ /s	50,3	39,7	153,28
50 anos	122 m ³ /s	52,2	69,8	153,87

3.3.1.4 Tomada de água

A obra da tomada de água (Figura 11) foi dimensionada para o caudal de 10 m³/s. O circuito hidráulico da tomada de água, que em parte é comum ao da descarga de fundo, segundo o projecto de execução, é constituído por:

- Orifício instalado na torre de manobra com a soleira à cota 147,00 com dimensões de 2,00 x 2,00 m²; para obturação desse orifício foi instalada uma comporta de vagão accionada por um servomotor instalado no topo da torre; a montante é instalada uma grelha metálica de protecção amovível, podendo ser instalada, no seu lugar, uma comporta

ensecadeira; as operações de instalação/remoção das comportas e da grelha são efectuadas com o auxílio do pórtico rolante localizado no topo da torre e de uma viga pescadora; a grelha metálica e a comporta ensecadeira apresentam as seguintes dimensões: $3,30 \times 2,00 \text{ m}^2$, sendo a espessura das barras da grelha de 8 mm e o seu espaçamento livre de 80 mm.

- Conduta circular de aço com 2,50 m de diâmetro e 156 m de extensão, obturada na secção final; a inclinação desta conduta é de 2,21%, até à secção final do desvio provisório (102 m de extensão); para jusante, a conduta desenvolve-se horizontalmente numa extensão de 54 m.

A torre é acessível a partir do coroamento da barragem por um passadiço de três tramos, com 32 m de comprimento, construído com vigas pré-esforçadas pré-fabricadas.

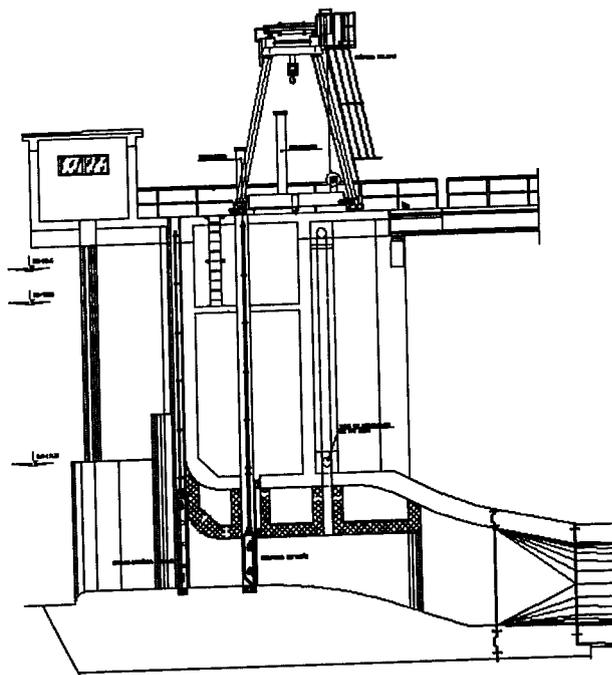


Figura 11: Pormenor da torre de tomada de água (Fonte: Projecto de execução, 2003)

3.3.1.5 Descarga de fundo

O circuito hidráulico da descarga de fundo, que em parte é comum ao da tomada de água, é constituído por:

- Orifício instalado na torre de manobra com a soleira à cota 146,00 e dimensões de 1,00 x 1,50 m²; para obturação desse orifício deveria ser instalada uma comporta de vagão accionada por um servomotor, instalado no topo da torre; a montante deveria ser instalada uma grelha metálica de protecção, amovível, podendo ser instalada, no seu lugar uma comporta ensecadeira; as operações de instalação/remoção das comportas e da grelha deveriam ser efectuadas com o auxílio do pórtico rolante localizado no topo da torre e de uma viga pescadora; a grelha metálica e a comporta ensecadeira deveriam ter dimensões de 1,00 x 2,80 m², sendo a espessura das barras da grelha de 8 mm e o seu espaçamento livre de 50 mm;
- Conduto circular de aço com de 2,50 m de diâmetro, comum à tomada de água, com derivação de 0,80 m de diâmetro no troço final (cerca de 30 m de extensão);
- Estrutura de saída da descarga de fundo.

A estrutura de saída da descarga de fundo é constituída por duas plataformas. Na plataforma superior, à cota 144,80, foi instalada a válvula de jacto oco motorizada e a válvula de borboleta a montante. Na plataforma inferior, à cota 142,0m, foram instaladas duas tubagens: uma de diâmetro 300 mm para permitir o esvaziamento da conduta abaixo da cota do eixo da válvula de jacto oco, provida de duas válvulas de

cunha do mesmo diâmetro; uma outra de 65 mm de diâmetro com o objectivo de escoar o caudal ecológico, provida de duas válvulas de macho esférico roscadas de igual diâmetro.

O diâmetro da válvula de jacto oco adoptado teve em conta um tempo máximo necessário para o esvaziamento da albufeira de um mês.

3.3.2 Observação da barragem

Para definição do antepiano de observação, o projecto de execução procedeu à caracterização da importância da estrutura, ao seu comportamento face às acções exteriores e à avaliação dos valores humanos e materiais face a uma eventual ruptura.

Para avaliação das condições de risco, seguiram-se as normas de observação anexas ao Regulamento de Segurança de Barragens, que atribuem índices numéricos aos diferentes factores de risco, agrupados em três categorias (E, F e R).

Após estudos efectuados atribuiu-se, no projecto de execução, um índice global de risco EFR igual a 19,5.

Tendo a barragem uma altura máxima próxima de 15 m, preconizou-se na fase de projecto que, para além das inspecções visuais periódicas, se instalassem oito marcas de nivelamento e oito marcas superficiais, dois inclinómetros, duas baterias de assentamentos, catorze piezómetros hidráulicos, uma escala limnimétrica, uma câmara de medição de caudais e um udómetro. Preconizaram-se, igualmente, a instalação de duas marcas superficiais e duas marcas de nivelamento nos muros guias da obra de entrada do descarregador de cheias, uma marca superficial e uma marca de nivelamento na plataforma da torre de tomada de água e uma marca superficial e uma marca de nivelamento no passadiço de acesso à torre de tomada de água.

4 - Aspectos condicionantes na execução da barragem do Pisão

4.1 - Considerações gerais

Quando se procede à implementação de um projecto que integra um aproveitamento hidráulico, são vários os aspectos que podem condicionar a sua execução, designadamente as condições climatéricas, as condições hidrogeológicas do local, a data de adjudicação da obra, a organização das empresas intervenientes, etc. No entanto, pela importância que revelam ao nível do condicionamento do prazo de execução da empreitada, bem como da enorme importância ao nível da segurança e exploração futura desta, foi dada especial atenção neste capítulo, à fundação da barragem, aos aterros e respectivas manchas de empréstimo, bem como alguns pormenores construtivos da obra.

Procura-se assim identificar e caracterizar alguns dos problemas que foram detectados durante a construção da barragem do Pisão, e que portanto, condicionaram a sua execução. Apresentam-se, paralelamente, algumas sugestões que sirvam de orientação na construção de futuros projectos a implementar de idêntica natureza.

4.2 - Acompanhamento de obra. Partes intervenientes na execução

As maiores valias técnicas, inquestionáveis, que representam a presença em obra de vários técnicos afectos aos diferentes intervenientes numa empreitada, nomeadamente Autoridade (INAG), Dono de Obra, Empreiteiro, Fiscalização e Projectista, trazem também outros aspectos, menos positivos, como por exemplo o aumento do tempo de resposta necessário à resolução de problemas que ocorram ou mesmo divergências acerca das responsabilidades de cada entidade, face a determinadas ocorrências que surgem em obra e que são de urgente resolução. Esta situação pode originar impasses e paragens dos trabalhos com os

consequentes atrasos no prazo de conclusão das obras, normalmente com prejuízos evidentes para o contratado e contratante.

Existe, portanto, toda a vantagem em criar condições de colaboração estreita com todos os intervenientes que, no seu domínio de actividade, vão dispor de um maior volume de informação e de conhecimento concreto com o decorrer da obra.

A resolução dos problemas habituais de uma empreitada fica facilitada quando todos os intervenientes possuem, em cada momento, as prioridades da obra e os seus pontos de maior sensibilidade, podendo assim antecipar e resolver as dificuldades de cada frente de trabalho. O aparecimento destes problemas ou dificuldades em tempo útil será sempre o ideal, uma vez que com o desenrolar dos trabalhos a solução é normalmente mais onerosa e conflituosa.

4.3 - Programação das obras

Apesar do Empreiteiro apresentar um programa de trabalhos na proposta de concurso, é corrente a apresentação de um segundo plano, normalmente mais detalhado, aquando do início dos trabalhos. Este facto resulta da incerteza que existe, na fase de concurso, da data precisa da consignação dos trabalhos e pode permitir a introdução de alguns ajustes e melhorias ao planeamento inicial.

A barragem do Pisão foi consignada no mês de Agosto de 2005 e previa como prazo final de conclusão o mês de Janeiro de 2007. Considerando de forma conservativa o período de estiagem e de acordo com o Quadro 4 do capítulo 3.1, este correspondente a 5 meses, de Maio a Setembro, enquanto o período húmido corresponde a 7 meses, de Outubro a Abril. Tendo em conta que a época que permite maiores rendimentos de construção dos aterros compreende os meses de Maio a Setembro e, face ao volume total de aterros da barragem previstos no projecto

de execução, cerca de 144000 m³, considerou-se que a construção destes deveria ser efectuada durante um único período de estiagem.

Apresenta-se em seguida, de uma forma resumida, o encadeamento adoptado para as actividades de construção da barragem do Pisão.

Durante o primeiro período húmido, altura em que os caudais afluentes à secção da barragem passam pelo leito natural da ribeira, as obras iniciaram-se com a montagem do estaleiro, a abertura de acessos provisórios à obra e com o desenvolvimento do projecto e aprovisionamento do material referente aos equipamentos hidromecânicos e instalações eléctricas.

Do mês de Novembro ao mês de Janeiro decorreram os trabalhos de escavação da torre de tomada de água e de instalação e betonagem da conduta de tomada de água/descarga de fundo, que funcionaria posteriormente como desvio provisório. Neste período iniciou-se também a betonagem da torre de tomada de água e a escavação do descarregador de superfície.

Durante os últimos meses do período húmido iniciaram-se os trabalhos de escavação/saneamento da barragem, construção da bacia de dissipação e muros ala do descarregador de superfície. Também se concluiu a descarga de fundo na torre de tomada de água.

Os aterros experimentais estavam previstos iniciar-se em meados do mês de Março desenvolvendo-se até meados de Abril, para que no início do período de estiagem fosse possível iniciar a construção dos aterros.

Com o início da construção dos aterros da barragem, os caudais afluentes seriam desviados para a conduta de tomada de água, que funcionaria como conduta de desvio provisório e que se previu estar concluída no início da época de estiagem (mês de Maio).

Durante o mês de Agosto os trabalhos do descarregador de cheias (com excepção da estrutura de entrada) estavam concluídos, uma vez que a passagem dos caudais de cheia,

afluentem à secção da barragem, durante o segundo período húmido, pode ocorrer em simultâneo pela conduta de tomada de água e pelo descarregador de cheias, que funcionará assim como desvio provisório. A estrutura de saída da descarga de fundo previu-se ser construída e equipada no decorrer da época de estiagem.

Em Setembro e Outubro após a instalação dos equipamentos hidromecânicos, foram efectuados os respectivos ensaios.

Os acessos à barragem e à descarga de fundo foram executados em duas fases: uma primeira, no início da obra, em que se efectuou apenas os trabalhos necessários à circulação das viaturas da obra e uma segunda fase, depois de finalizadas as obras de construção da barragem, altura em que se procedeu aos acabamentos definitivos. Nos últimos meses foram concluídos o troço final da tomada de água e a plataforma. Procederam-se também aos acabamentos finais no coroamento da barragem e, por último, procedeu-se à desmontagem do estaleiro.

Os trabalhos de desmatção e a desarborização da albufeira foram efectuados fora do período de nidificação das espécies autóctones, coincidente com a Primavera.

4.4 - Fundação da barragem

4.4.1 Prospecção complementar

Antes da abertura das fundações da barragem foi decidido realizar, em obra, trabalhos de prospecção complementar (v.d. Anexo II.I, - Fundação da barragem, localização do trabalhos de prospecção complementares), com o objectivo de definir com antecedência uma planta de escavações.

Os primeiros trabalhos, desenvolveram-se durante o mês de Outubro e consistiram na abertura de 3 trincheiras com cerca de 2 metros de profundidade máxima ao longo do eixo da barragem e cuja localização e comprimento se indica no Quadro 11.

Quadro 11: Distância à origem (PK) e comprimento das trincheiras T1, T2 e T3

Trincheira	Distância à origem	Comprimento (m)	Localização
T1	PK025 – PK125	100	Encontro Esquerdo
T2	PK175 – PK230	55	Fundo do Vale
T3	PK255 – PK410	155	Encontro Direito

Posteriormente, procedeu-se à abertura de quatro poços no fundo do vale (P1F; P2F; P3F e P4F), até cerca de 5 metros de profundidade. O levantamento geológico destes poços encontra-se no anexo II.III (Anexo II.III, - Levantamentos Geológico dos Poços P1F; P2F; P3F e P4F).

A permeabilidade do maciço foi caracterizada, na fase de projecto de execução, por ensaios Lugeon, efectuados a partir dos seis metros de profundidade, não tendo sido caracterizado o horizonte que fica entre o fundo da vala corta águas e aquela profundidade. Assim, para estimar a permeabilidade deste horizonte, utilizou-se o método de Matsu (Vallejo *et al.* 2002) e efectuaram-se três ensaios “*in situ*” (v.d. Anexo II.II, - Ensaios de permeabilidade “*in situ*”), na trincheira T3, onde o maciço rochoso é totalmente decomposto. Os ensaios ocorreram a uma profundidade de dois metros e a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade determinado variou entre 1,7 e $8,3 \times 10^{-6}$ m/s, sendo sensivelmente superior aos 10^{-7} m/s, considerados no projecto de execução.

4.4.2 Caracterização geral da fundação

De acordo com a caracterização geológica do projecto de execução, as formações que constituem o substrato rochoso no local da barragem são metavulcanitos básicos (Fotografia 2) muito fracturados e com vários graus de alteração, percorridos por inúmeras falhas e filões de dolerito.

No encontro esquerdo, até ao PK86, a rocha é subaflorante e apresenta-se alterada mas resistente, onde se destacam algumas zonas de esmagamento, falhas subverticais e alguns filões

de dolerito muito fracturado, com orientação predominantemente perpendicular ao eixo da barragem. De salientar que esta estrutura é favorável à passagem de água através desta zona da fundação da barragem uma vez que as nascentes que apareceram ao longo da escavação da trincheira para implantação da conduta da tomada de água/descarga de fundo corroboram esta conclusão (Fotografia 3)

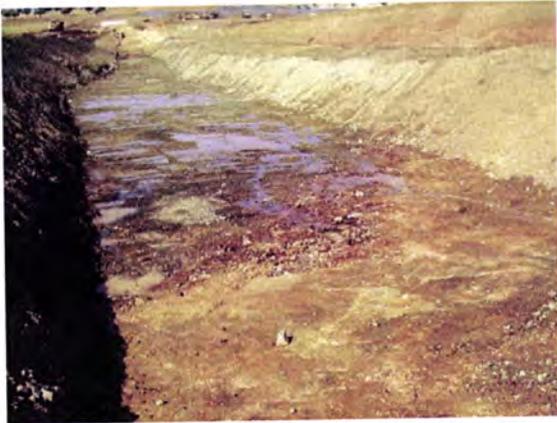


Fotografia 2: Pormenor do metavulcanitos básicos do substrato rochoso no local da barragem.



Fotografia 3: Conduta da tomada de água. Vista Geral da escavação da vala, observando-se as aflúncias de água provenientes do maciço de fundação do encontro esquerdo.

No trecho do fundo do vale e do encontro direito, entre o PK96 e o PK450, os metavulcanitos aparecem até pelo menos 5 metros de profundidade decompostos e muito descomprimidos (rocha branda), alternando com rochas alteradas e fracturadas (Fotografia 4). No encontro esquerdo depois do P280 aparece a formação designada por “caliço” que aflora numa grande extensão nesta vertente (Fotografia 5).



Fotografia 4: Metavulcanitos decompostos e descomprimidos no fundo do vale perto do PK 100.



Fotografia 5: Escavação da vala corta-águas. Encontro direito em material de “caliço”.

Relativamente aos terrenos de cobertura, assinala-se que o fundo do vale é coberto por uma camada regular das aluviões com espessura máxima de 3,5 m, entre o P86 e o P260, que são, no essencial, argilas do tipo CL, pouco consistentes e de cor castanha transitando para castanha escura próximo da superfície (terra vegetal). Nos encontros do corpo da barragem, o substrato encontra-se coberto por terra vegetal de espessura mais reduzida do lado esquerdo, cerca de 30 cm, do que do lado direito, onde varia entre 1,1 m e 0,5 m.

Na base das aluviões, no poço P3F, apareceu uma camada de areia e burgau muito permeável, com cerca de 0,30 m de espessura, designada por cascalheira e que atravessa obliquamente a fundação da vala corta águas. Esta ocorrência da cascalheira, colocou dúvidas relativamente às condições de percolação na fundação e aos riscos que lhe estariam associados, pelo que se considerou importante a delimitação da mesma. Foram assim efectuados mais cinco poços. O P5F, a montante do eixo da barragem, os poços P6F, P7F e P8F a jusante do pé da barragem e o poço P9F, na zona da vala corta-águas, a jusante do eixo da barragem e próximo do poço P3F (v.d. Anexo II.I, - Fundação da barragem, localização do trabalhos de prospecção complementares) e (v.d. Anexo II.IV, - Levantamento Geológico dos Poços P5F, P6F, P7F, P8F e P9F).

As profundidades e espessuras da cascalheira nos poços efectuados, estão representadas no Quadro 12.

Quadro 12: Delimitação da profundidade e espessura da cascalheira.

POÇO	PROFUNDIDADES	ESPESSURA
P5F	2,50/3,50	1,0
P6F	2,90/3,50	1,40
P7F	2,50/3,90	1,4
P8F	2,50/3,50	1,00
P9F	2,90/3,90	1,00

O reconhecimento efectuado permitiu observar que a cascalheira constitui uma camada bastante contínua com mais de 1 m de espessura, intercalada entre as argilas e o substrato gábrico muito alterado e descomprimido, e que se desenvolve em toda a largura entre o leito da ribeira e o encontro esquerdo, desde o eixo da barragem até para além do pé do talude de jusante. Confirmou-se ainda, por observação efectuada durante a abertura dos poços, que esta camada é bastante permeável e que será seguramente intersectada pela trincheira da vala corta-águas.

4.4.3 Preparação da fundação, soluções preconizadas

4.4.3.1 Profundidade da vala corta-águas

A existência da cascalheira com elevada permeabilidade, relatada anteriormente, estabelece, na zona da vala corta-águas, uma ligação entre a albufeira e jusante. Face a esta observação, considerou-se necessário aprofundar a vala corta-águas, de modo a impedir a percolação de água sob o núcleo da barragem. Este aprofundamento, entre os dois e os cinco metros na zona mais desfavorável, junto ao leito da ribeira, foi realizado de modo a garantir um

encastramento de cerca de um metro no substrato, mesmo que este se encontre alterado a decomposto.

4.4.3.2 Colocação de camada de filtro na face de jusante da vala corta-águas

Nas zonas em que é intersectado material permeável, seja cascalhento ou arenoso, podem não ficar garantidas condições de filtro entre o núcleo e esse material. De modo a evitar possíveis erosões internas, foi preconizada a colocação de uma camada de filtro encostada ao limite de jusante da vala corta águas de acordo com o exemplificado na Figura 12.

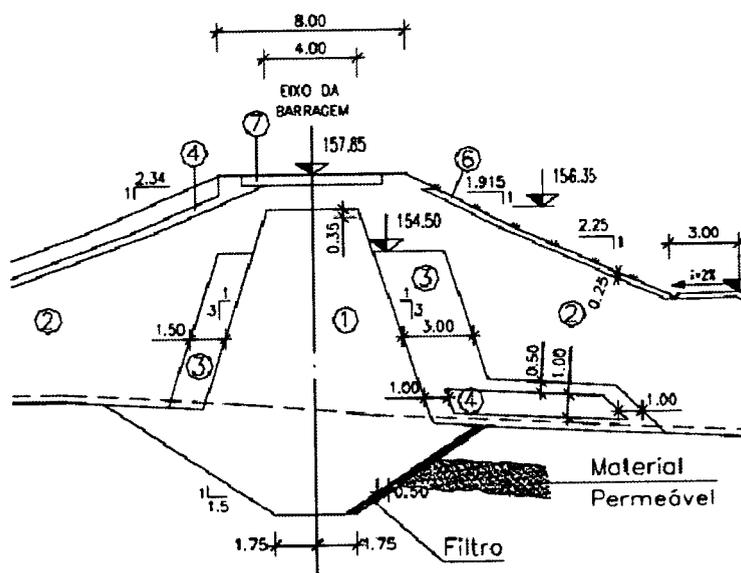


Figura 12: Filtro a jusante da vala corta-águas.

4.4.3.3 Remoção da argila aluvionar na fundação do maciço estabilizador de montante

Devido às ressurgências encontradas no fundo das escavações da fundação do maciço estabilizador de montante e da vala corta águas, essencialmente entre os PK90 e PK120, foram realizados drenos dirigidos para poços de captação, onde as águas foram bombadas durante a execução dos aterros, limitando assim uma eventual subida de água provocada pela vibração aplicada na compactação das argilas.

Relativamente à colocação dos maciços estabilizadores sobre as aluviões, entre os perfis PM90 e PM250, e perante a baixa consistência destas, condição essa que dificultaria a colocação e compactação dos materiais, optou-se por:

- No Maciço de jusante foi colocado, após saneamento da terra vegetal, entre o sistema de drenagem principal e o dreno de pé (onde o material tipo 2 assenta directamente sobre a fundação), e após o saneamento da terra vegetal, um geotêxtil (não tecido de 300 g/m²) sobre o qual se procedeu à colocação e compactação da primeira camada de material de aterro (material tipo 2). A compactação deste material foi executada com menor frequência de vibração, de modo a perturbar o menos possível a camada aluvionar.
- No Maciço de montante, uma vez que a aplicação da mesma disposição construtiva poderia criar um caminho preferencial junto à fundação do maciço, considerou-se que a aluvião deveria ser removida na totalidade da sua espessura e substituída por material do maciço estabilizador.

4.4.3.4 Cota de saída do tapete drenante

A cota da linha de água à saída do tapete drenante considerada no projecto de execução foi 143,50. No entanto, após levantamento efectuado em obra, verificou-se que essa mesma cota era cerca de 0,36 m superior, tendo-se obtido o valor de 143,86.

A disposição construtiva adoptada para adaptar o projecto consistiu em “subir” todo o tapete drenante de saída, de modo a que a inclinação definida no projecto de execução se pudesse manter e desta forma proceder correctamente à leitura, na câmara medidora, dos caudais percolados.

4.4.3. Redução da espessura do núcleo

A quantidade de material de núcleo estimada no projecto de execução foi de 32800 m³. Com o aprofundamento da vala corta-águas preconizado, este volume foi significativamente incrementado, colocando dificuldades adicionais na obtenção de material suficiente para execução dos aterros do núcleo.

Assim, reduziu-se a largura do topo do núcleo de 6,00 para 4,00 m, diminuindo a inclinação dos taludes de 4V:1H para 3V:1H, aumentando a inclinação dos limites da vala corta-águas, que era de 1V:1,75 H e passou para 1V:1,5 H. Na Figura 13 apresenta-se, a título exemplificativo, a geometria inicial e a alteração do núcleo no Perfil P120.

- Mancha E1 em solos de alteração residual de vulcanitos e pórfiros ácidos, situada fora da albufeira, a cerca de 0,8 km para jusante da barragem e onde foi delimitada uma área com 10 ha, com espessuras médias a explorar entre os 2,1 metros e os 3 metros, o que totalizou em projecto, um volume total disponível de cerca de 200000m³.
- Mancha E5 em solos de alteração dos gabros, localizada na área da albufeira a cerca de 1,2 km da barragem. Foi delimitada uma área com 10 ha, com espessuras médias a explorar entre os 2 metros e os 3 metros, o que totalizou, em projecto, um volume total disponível de cerca de 200000m³.

Para o aterro dos maciços estabilizadores (material tipo 2), estava prevista a mancha E6, situada no Monte da Tramagueira, a cerca de 3 km do local da barragem, com um volume total disponível de cerca de 400 000m³

Estas últimas manchas apresentavam contudo algumas desvantagens, nomeadamente:

- Necessidade de abertura de uma frente de trabalho distante do local da obra;
- Distâncias de transporte elevadas;
- Condicionamentos à circulação de veículos pesados de terraplenagens na estrada municipal e dentro da povoação de Trigaches.

Com o objectivo de confirmar as disponibilidades de material existente para os aterros do núcleo da barragem e simultaneamente prospectar soluções alternativas de modo a suprimir as desvantagens existentes nas manchas de materiais para os aterros dos maciços, foi realizada, em fase de obra, uma extensa prospecção complementar na zona envolvente da albufeira.

Este programa de prospecção complementar, que teve início logo no primeiro mês de obra, desenvolveu-se em diversas fases sucessivas e envolveu a abertura de poços, colheita de amostras e a realização de ensaios, efectuados no laboratório de obra, para identificação e caracterização dos solos.

A primeira fase compreendeu o alargamento da malha, em manchas rejeitadas na fase de projecto. Foram, assim, realizados 35 poços ao longo da periferia da albufeira, onde se recolheram amostras e se realizaram ensaios de identificação.

De um modo geral, os resultados obtidos mostraram uma grande heterogeneidade dos materiais, tanto em termos de granulometria como em termos de plasticidade. No entanto, e com base no observado, foi decidido prosseguir o estudo nas zonas consideradas mais favoráveis, a mancha E4 e mancha E5. Deste modo, foram então programadas, para estas duas manchas, novas campanhas de prospecção que se descrevem em seguida.

4.5.1 Prospecção complementar na mancha E4

A prospecção complementar efectuada na mancha E4 compreendeu a realização de 13 poços (P42a P49-1), com profundidades de 3 a 5 metros e onde foram seleccionadas 10 amostras para ensaios de identificação (v.d Anexo III.I, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E4).

Os materiais com aptidão para aterros dos maciços estabilizadores da barragem corresponderam a gabro decomposto, pouco rijo e gabro muito alterado e muito rijo provenientes do desmonte do maciço gábrico alterado. As espessuras a explorar destes materiais, dependentes da ripabilidade da rocha, permitiram delimitar dentro da zona prospectada uma área mais favorável, com cerca de 2,5 ha e com profundidades de material possíveis de ser explorado entre os 2 e os 2,5 metros. A esta delimitação correspondem os poços P42; P43; P44; P47; P48 e P49-1 (v.d Anexo III.I, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E4). Estes resultados permitiram abandonar definitivamente a área E6, afastada do local da barragem, no entanto e com o evoluir da campanha de prospecção, esta mancha passou a ser de reserva em caso de falta de solos.

4.5.2 Prospecção complementar na mancha E5

E a prospecção complementar efectuada compreendeu a realização de 23 poços realizados em duas fases. A primeira fase abrangeu a mancha delimitada no projecto e uma zona adjacente, numa área total de 12 hectares e de onde foram colhidas 12 amostras de solos. Da análise dos resultados (v.d Anexo III.II, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E5), verificou-se a ocorrência de dois tipos de solos, na zona adjacente à mancha de projecto, com características adequadas para a construção da barragem:

- Solos argilosos com características para o núcleo: poços P54, P56, P57, P58, P60, P63, P64 e P65. (v.d. Anexo III.II, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E5);
- Solos areno-siltosos com características para os maciços estabilizadores e para aterros de estradas, constituídos por areia siltosa com fragmentos de rocha, em que foram ensaiadas 4 amostras dos poços P50, P53, P61 e P62 (v.d. Anexo III.II, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E5).

Concluiu-se também que os materiais existentes na mancha E5, delimitada no projecto, eram diferentes do previsto nas caracterizações e recomendações, não sendo adequados para aterros da barragem. No essencial ocorreram solos residuais do maciço gábrico do tipo “caliço”, constituído por materiais finos argilo-siltosos pulverulentos, ricos em carbonatos, de cor esbranquiçada e em menor extensão, argilas muito plásticas, cinzentas e acastanhadas.

Com base nos resultados desta primeira fase, foram realizados mais 10 poços (P56A, P66, P67, P69, P54B, P74A, P68, P75, P74B e P54A) com o objectivo de cartografar com maior precisão os materiais que ocorrem nesta área de empréstimo. Foram identificadas as

seguintes zonas (v.d. Anexo III.III, Localização dos trabalhos prospecção complementares na mancha E5):

- Afloramento de gabros decompostos a muito alterados com boas características para fornecerem solos para os maciços estabilizadores.
- Afloramento de gabros de natureza idêntica mas com o perfil de alteração menos evoluído e que também podem ser utilizados em aterros, na barragem e em estradas.
- Uma zona em cerca de 8000 m² onde ocorrem argilas coluvionares com características adequadas para o núcleo, tendo-se avaliado as reservas em pelo menos 20000 m³.

Como não era possível garantir nesta mancha E5 a quantidade necessária de argilas para o núcleo, decidiu-se continuar a prospecção destes materiais na mancha E1.

4.5.3 Prospecção complementar na mancha E1

Numa primeira fase foram efectuados 14 poços na mancha delimitada de projecto, P85 a P98, (v.d Anexo III.IV, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E1).

Apenas nos poços P86, P87, P88, P89, P90 e P98 foram encontradas argilas coluvionares, de cor castanha amarelada e avermelhada, os quais permitiram delimitar uma área, bastante mais reduzida do que a indicado no projecto de execução.

Atendendo ao facto dos volumes a explorar serem ainda insuficientes, retomou-se a prospecção numa zona limítrofe a esta mancha, (v.d. Anexo III.IV, Localização dos trabalhos prospecção complementares na mancha E1), onde foram efectuados mais 6 poços, do P110 a

P115, e ensaiadas 5 amostras, (v.d Anexo III.V, Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E1).

Esta prospeccção permitiu efectuar um zonamento, da mancha E,1 com uma área total da ordem de 12000 m² e uma espessura média entre 0,6 a 0,8 m. O volume de argilas foi estimado em cerca de 8000 m³.

4.5.4 Resumo da origem dos materiais utilizados no aterro da barragem

O volume total de aterros foi de 162275 m³. Os volumes parciais dos diversos materiais efectivamente aplicados na construção da barragem foram os seguintes:

- Material tipo 1 para o núcleo – total 36746 m³:
 - Argila da mancha E5 – 34774 m³;
 - Argila da mancha E1 – 1972 m³.

O material argiloso aplicado no núcleo foi explorado principalmente na mancha E5 num total de quase 35000 m³. Quase no fim dos aterros esgotou-se a bolsada de argilas desta mancha e passou-se a explorar a mancha E1 num total de aproximadamente 2000 m³. São solos coluvionares dos tipos SC e CL, que foram identificados e caracterizados durante a prospeccção complementar.

- Material tipo 2 para os maciços estabilizadores – total 91378 m³:
 - Maciço de montante com ensecadeira – 49530 m³;
 - Maciço de jusante – 41848 m³.

Os materiais para os maciços provieram na totalidade da mancha E5. São solos dos tipos SC e GP-GC, resultantes da desagregação mecânica dos gabros decompostos e muito alterados.

- Material tipo 3, areia para filtros – total 14757 m³:
 - Filtro de montante – 6301 m³;
 - Filtro de jusante – 7595 m³;

As areias utilizadas nos filtros da barragem foram adquiridas no areeiro de Joaquim Sousa Brito. Estas areias foram obtidas, por processamento (peneiração e lavagem), de aluviões do rio Sado em Santa Margarida do Sado. Para obter o fuso de projecto foi necessário recorrer a uma mistura de 2 composições granulométricas.

- Tapete drenante e transições no pé de jusante – 861 m³.
- Material tipo 4, brita para drenos e transições – total 7620 m³:
 - Tapete drenante – 2710 m³;
 - Pé de jusante – 820 m³;
 - Transição no talude de montante – 4090 m³.
- Material tipo 5, enrocamentos de protecção – total 9630 m³:
 - Pé de jusante – 2210 m³;
 - Talude de montante – 7420 m³.

As britas para os drenos da barragem e camadas de transição foram adquiridas na pedreira da Ferbritas em Castelo Ventoso – Ferreira do Alentejo. O material de enrocamento para a protecção do talude de montante e para o pé de jusante da barragem também foi obtido nesta pedreira.

4.6 - Aterro experimental

A realização dos aterros experimentais têm como objectivo a aferição de metodologias construtivas e de métodos e critérios de controlo da execução dos aterros definitivos. Em obra pretende-se com a sua realização, caracterizar:

- Os materiais quanto às suas propriedades índice e de compactação;
- Os procedimentos de exploração das manchas de empréstimo e de colocação no local dos aterros;
- A espessura das camadas, de modo a assegurar a sua homogeneidade;
- A energia de compactação a aplicar, a qual é dependente do tipo de equipamento utilizado, do número de passagens do mesmo e da espessura das camadas;
- Os métodos e os critérios de controlo.

Na Barragem do pisão, com a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, foram executados, dois aterros experimentais: o primeiro para a caracterização dos processos construtivos relativos aos maciços estabilizadores e o outro para a selecção dos procedimentos a adoptar na realização do núcleo, as conclusões obtidas foram objecto do relatório *Análise e Interpretação dos Resultados dos Aterros Experimentais* (LNEC, 2006).

4.6.1 - Definição da exploração da mancha de empréstimo

A mancha de empréstimo a utilizar foi previamente prospectada, de modo a permitir caracterizar a sua estratificação e definir a sua exploração.

É norma de boa prática que a exploração dos materiais seja realizada em frentes de trabalho que permitam a sua mistura, minimizando a respectiva heterogeneidade. Para tal, importa proceder ao desmonte e à homogeneização prévia de um volume de material equivalente ao necessário para a construção da totalidade de cada um dos aterros experimentais.

Este material deve ser dividido em três pilhas, onde se corrige o teor em água do solo natural de modo a obterem-se os teores em água w_{opt} , $w_{opt}-2\%$ e $w_{opt}+2\%$, definidos no projecto de execução, recolheram-se posteriormente amostras para a realização dos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica completa;
- Determinação dos limites de consistência;
- Determinação da densidade das partículas da fracção passada e da fracção retida no peneiro n.º 4;
- Determinação do teor em água natural;
- Ensaio de compactação do tipo Proctor normal;

Em face dos resultados obtidos, foi avaliado o processo de homogeneização e, depois de aprovado, definida uma curva de referência, Proctor Normal, para o material na mancha. Posteriormente corrige-se o teor em água do solo natural, de modo a obterem-se pilhas com teores em água w_{opt} , $w_{opt}-2\%$ e $w_{opt}+2\%$.

4.6.2 - Construção e caracterização dos aterros experimentais

Os equipamentos utilizados na execução dos aterros experimentais foram os propostos pelo Empreiteiro, concretamente:

- Equipamento de compactação para os maciços estabilizadores: Cilindro rolo e pneus, marca Bomag Bw 217 D, com as seguintes características:
 - Peso Operacional: 18 Ton;
 - Carga Axial Dianteira: 11 Ton;
 - Carga Axial Traseira: 7 Ton;
 - Carga Axial Linear Estática: 52,3Kg/cm;
 - Sistema Vibratório, Frequência 1 e 2: 29/35 Hz;
 - Sistema Vibratório, Amplitude 1 e 2 1,66/0,91;
 - Sistema Vibratório, Força Centrifuga 1 e 2 31/24,8 Ton.

- Equipamento de compactação para os núcleos: Cilindro pé de Carneiro, marca Hamm 3520, com as seguintes características:
 - Peso Operacional 19,9 Ton;
 - Carga Axial Dianteira 12,6 Ton;
 - Carga Axial Traseira 7,3 Ton;
 - Carga Axial Linear Estática 56,4Kg/cm;
 - Sistema Vibratório, Frequência 1 e 2 27/30 Hz;
 - Sistema Vibratório, Amplitude 1 e 2 1,9/1,15;
 - Sistema Vibratório, Força Centrifuga 1 e 2 53/44 Ton;
- Equipamento espalhamento para os maciços estabilizadores: Bulldozer CAT D6.
- Equipamento espalhamento para o núcleo: Bulldozer CAT D6 ou CAT 825B.
- Equipamento de carga e transporte para o núcleo e maciços: Escavadora Kamatsu PC 290 e 3 Dumpers CAT D350 ou Volvo A35.

Os aterros experimentais foram executados com 3 faixas, de 5 m de largura por 40 m de comprimento, com diferentes teores em água: a primeira com o teor em água próximo do ótimo do ensaio de Proctor normal (w_{opt}), a segunda com um valor próximo de $w_{opt}-2\%$ e a última com um teor em água próximo de $w_{opt}+2\%$.

Para a caracterização destes materiais, para maciços estabilizadores e núcleo, foram realizados os seguintes ensaios:

- Em duas amostras colhidas na mancha de empréstimo:
 - Análise granulométrica;
 - Determinação dos limites de consistência;
 - Ensaio do tipo Proctor normal da fracção passada no peneiro 3/4”;
 - Determinação do peso volúmico das partículas;

- No campo, aproximadamente em zonas localizadas aos terços (1/3 e 2/3) do desenvolvimento dos aterros experimentais, após 4, 6 e 8 passagens do cilindro compactador no caso dos maciços estabilizadores e 6, 8 e 10 passagens no caso do núcleo da barragem:

- Determinação do peso volúmico pelo método da garrafa de areia;
- Determinação do teor em água por secagem em estufa;

- Em laboratório, sobre misturas de material recolhido para as determinações com garrafa de areia:

- Análise granulométrica;
- Determinação dos limites de consistência;
- Ensaio do tipo Proctor normal da fracção passada no peneiro $\frac{3}{4}$ ”;
- Determinação do peso volúmico das partículas.

4.6.3 - Apresentação e análise dos resultados

4.6.3.1 - Maciços estabilizadores

Os materiais provenientes de uma área adjacente à mancha de empréstimo E5, são constituídos, essencialmente, por areias silto-argilosas com seixos e calhaus dispersos. Previamente à execução dos aterros experimentais foram definidas e caracterizadas duas amostras de referência colhidas nas manchas de empréstimo (amostras 54 e 55). Posteriormente, após a realização dos aterros experimentais e para cada uma das faixas, por misturas dos materiais extraídos durante a execução dos ensaios com garrafa de areia em locais próximos, foram constituídas 3 amostras para aferição das granulometrias e dos ensaios de compactação realizados:

- Amostra 58, sobre a faixa do w_{opt} (mistura dos solos extraídos durante a execução das garrafas de areia 1, 3 e 5).

- Amostra 62, sobre a faixa com $w_{opt}-2\%$ (mistura dos solos extraídos durante a execução das garrafas de areia 13, 15 e 17).
- Amostra 61, sobre a faixa com $w_{opt}+2\%$ (mistura dos solos extraídos durante a execução das garrafas de areia 8, 10 e 12).

Na Figura 14 e Figura 15, apresentam-se, as curvas granulométricas e as curvas de compactação do ensaio Proctor normal, de todas as amostras de referência, onde a azul estão representadas as amostras colhidas na mancha e a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia. Estão representados também os limites do fuso granulométrico definido no projecto.

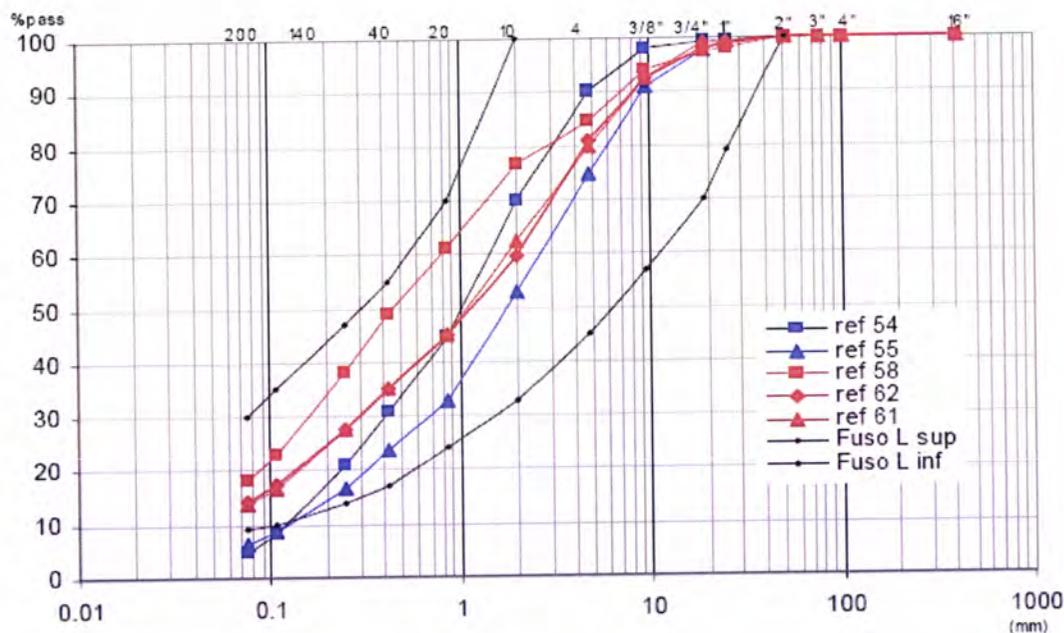


Figura 14: Curva granulométrica das amostras de referência 54, 55, 58, 61 e 62, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia e a preto os limites do fuso granulométrico. (Fonte: Laboratório de obra)

O Quadro 13 resume os valores dos limites de consistência e da densidade das partículas das amostras de referência.

Quadro 13: Limite de liquidez, índice de plasticidade e densidade das partículas das amostras de referência dos maciços estabilizadores. (Fonte: Laboratório de obra).

Amostra	Descrição	WL	IP	G
54	Colhida na mancha de empréstimo	20	5	2,94
55	Colhida na mancha de empréstimo	25	6	2,98
58	Mistura das garrafas de areia 1,3 e 5 da faixa w_{opm}	26	6	2,93
61	Mistura das garrafas de areia 8,10 e 12 da faixa $w_{opm}+2\%$	25	6	2,96
62	Mistura das garrafas de areia 13,15 e 17 da faixa $w_{opm}-2\%$	26	6	2,92

A Figura 14, permite verificar que as curvas granulométricas dos solos da mancha de empréstimo apresentam uma menor percentagem de finos quando comparadas com as amostras colhidas após a compactação, o que revela alguma evolução do material. No entanto, tal não parece ter resultados assinaláveis em termos de características de compactação, dado que amostras granulometricamente muito próximas (61 e 62) apresentam alguma variação em termos do teor em água ótimo.

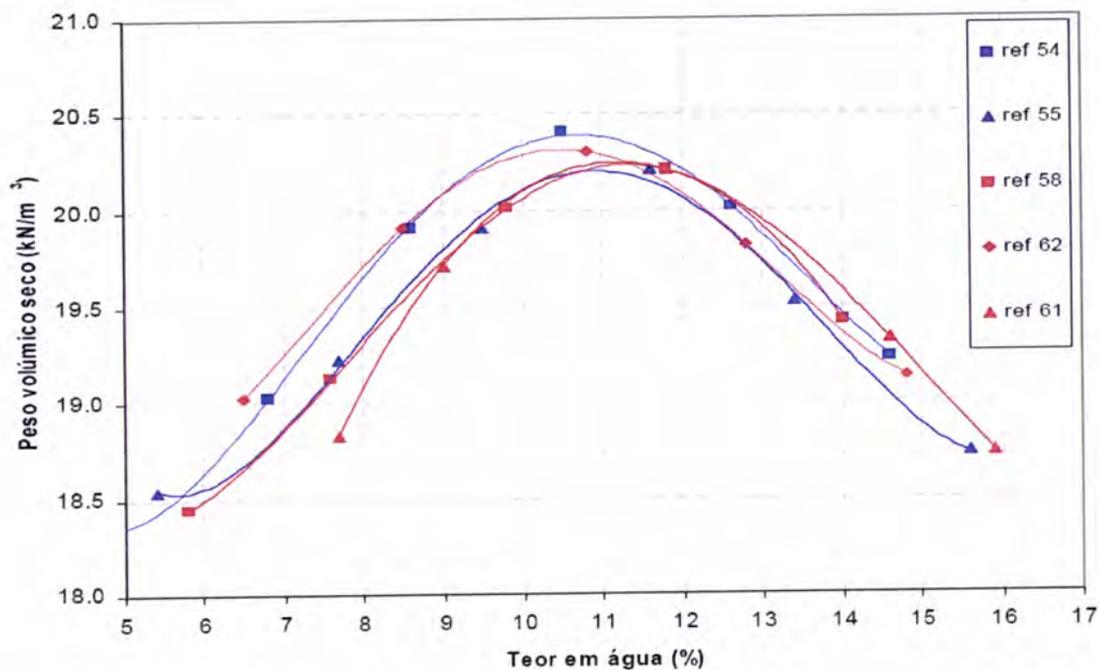


Figura 15: Resultado dos ensaios Proctor normal das amostras de referência 54, 55, 58, 61 e 62, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia. (Fonte: Laboratório de obra)

Em termos de plasticidade, as amostras são todas muito idênticas. Os valores da densidade das partículas sólidas, por seu lado, revelam que os materiais utilizados são muito densos.

As curvas de compactação foram obtidas aproximando os pontos obtidos através de uma polinomial. A análise da Figura 15, mostra que as amostras obtidas após compactação estão contidas no intervalo de variação do peso volumétrico seco definido pelas amostras de referência colhidas na mancha. Em termos de teor em água ótimo, todas as amostras obtidas após compactação se localizam no exterior do intervalo definido pelas amostras 54 e 55, sendo o teor em água ótimo da amostra 62 inferior e os das amostras 58 e 61 superiores.

Para todos os solos ensaiados o intervalo de variação do peso volúmico máximo foi de $0,20 \text{ kN/m}^3$ (reduzida variação) e o intervalo de variação do teor em água óptimo de $0,8\%$, podendo-se concluir da existência de alguma sensibilidade dos materiais utilizados às variações do teor em água.

Em cada uma das faixas do aterro experimental foram realizados 6 ensaios com garrafa de areia e as respectivas determinações do teor em água por secagem em estufa. Numa fase inicial os valores do grau de compactação (GC) e do desvio do teor em água (Δw) foram calculados tomando como referência os resultados dos ensaios de Proctor da amostra 54.

Os resultados determinados e as curvas de compactação deduzidas encontram-se resumidos, respectivamente, nas Figura 16, em termos de valores médios, e Figura 17, que considera apenas os pontos correspondentes às amostras de referência.

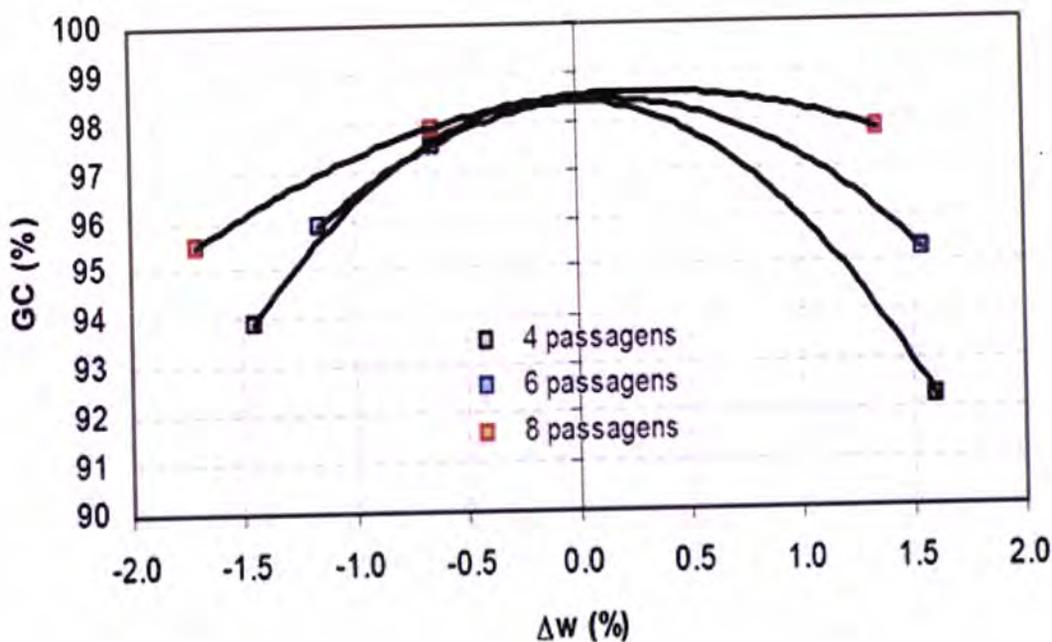


Figura 16: Curvas de compactação após 4, 6 e 8 passagens considerando os valores médios dos aterros dos maciços estabilizadores.

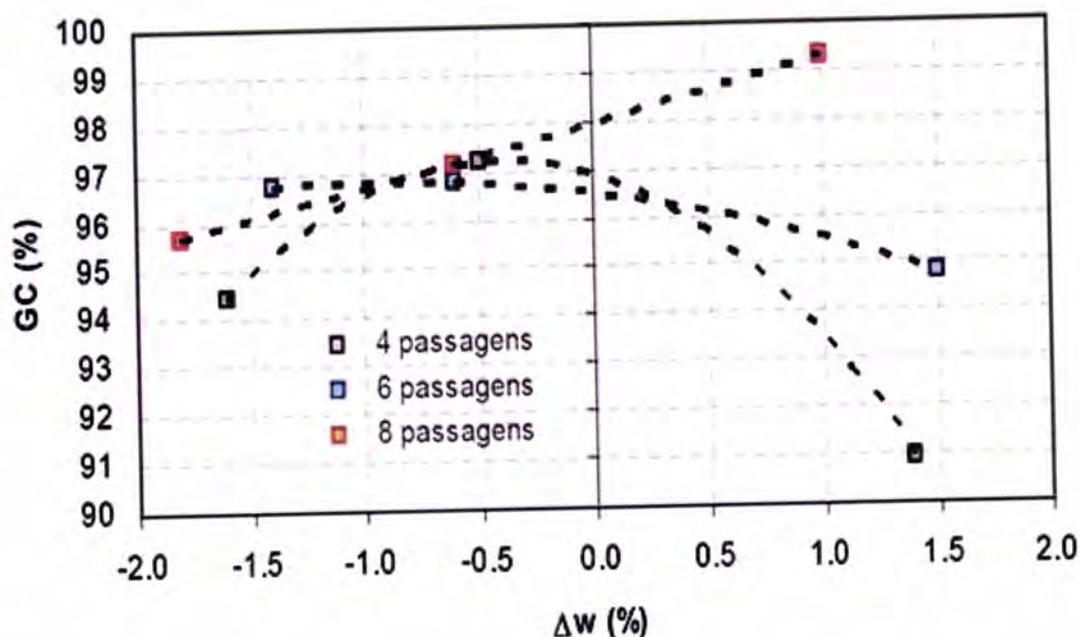


Figura 17: Curvas de compactação após 4, 6 e 8 passagens considerando os valores das garrafas de areia das misturas dos aterros dos maciços estabilizadores.

A Figura 16 revela claramente que, possivelmente devido à grande densidade dos materiais colocados, o grau de compactação máximo não aumenta com o número de passagens, pelo que não é eficiente aumentar esse número para além das 8 passagens aplicadas na execução dos aterros experimentais. No entanto, existe um efeito positivo associado ao incremento do número de passagens que consiste na redução do intervalo de variação do grau de compactação para desvios do teor em água entre -1,5% e +1,5%. Quando se representam apenas os resultados das amostras de referência, não tendo em conta a determinação do lado húmido após 8 passagens do cilindro, admite-se que se possam obter graus de compactação superiores a 97% no intervalo de desvios do teor em água anteriormente considerado.

Em resumo, e de acordo com o Projecto de execução, o intervalo máximo admitido para a variação do desvio do teor em água é de -1,5% a +1,5% e o grau de compactação mínimo exigido é de 98%.

A análise dos resultados dos ensaios realizados para os maciços estabilizadores permitiu concluir que:

- Os materiais utilizados estão contidos no fuso granulométrico previsto no projecto;
- Para o intervalo de teor em água admitido e o número de passagens efectuado, os valores do grau de compactação poderão ser ligeiramente inferiores ao valor mínimo especificado no Caderno de Encargos;
- No teor em água óptimo os resultados mostram-se insensíveis ao número de passagens do cilindro compactador, possivelmente devido à elevada densidade apresentada por estes materiais, pelo que não deve ser aumentado o número de passagens do cilindro compactador;
- Para as 8 passagens do cilindro verifica-se que a curva de compactação apresenta uma forma achatada, produzindo, na gama de teores em água seleccionada, pequenas variações do grau de compactação.

Em face do exposto, foi proposto que na realização dos aterros definitivos dos maciços estabilizadores, estes sejam realizados com uma espessura de camada após compactação de 0,40 m, após 8 passagens do cilindro compactador. Considera-se ainda que se deverá apontar para um valor médio do grau de compactação de 98%. Deve-se proceder à rejeição de camadas sempre que o grau de compactação desça para valores inferiores a 95%.

4.6.3.2 - Núcleo

Os materiais provenientes da mancha de empréstimo E5, são constituídos, essencialmente, por argilas inorgânicas de baixa plasticidade. Previamente à execução dos aterros experimentais foram definidas e caracterizadas duas amostras de referência colhidas nas manchas de empréstimo (amostras 56 e 57). Posteriormente, após a realização dos aterros experimentais e para cada uma das faixas, por misturas dos materiais extraídos durante a execução dos ensaios com garrafa de areia em locais próximos, foram constituídas 3 amostras para aferição das granulometrias e dos ensaios de compactação realizados:

- Amostra 66, sobre a faixa do w_{opt} (mistura dos solos extraídos durante a execução das garrafas de areia 25, 27 e 29).
- Amostra 65, sobre a faixa com $w_{opt}-2\%$ (mistura dos solos extraídos durante a execução das garrafas de areia 20, 22 e 24).
- Amostra 69, sobre a faixa com $w_{opt}+2\%$ (mistura dos solos extraídos durante a execução das garrafas de areia 32, 34 e 36).

Na Figura 18 e Figura 19, apresentam-se as curvas granulométricas e as curvas de compactação do ensaio Proctor normal de todas as amostras de referência. As azuis estão representadas as amostras colhidas na mancha e a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia. Estão representados também os limites do fuso granulométrico definido no projecto. O Quadro 14, resume os valores dos limites de consistência e da densidade das partículas das amostras de referência.

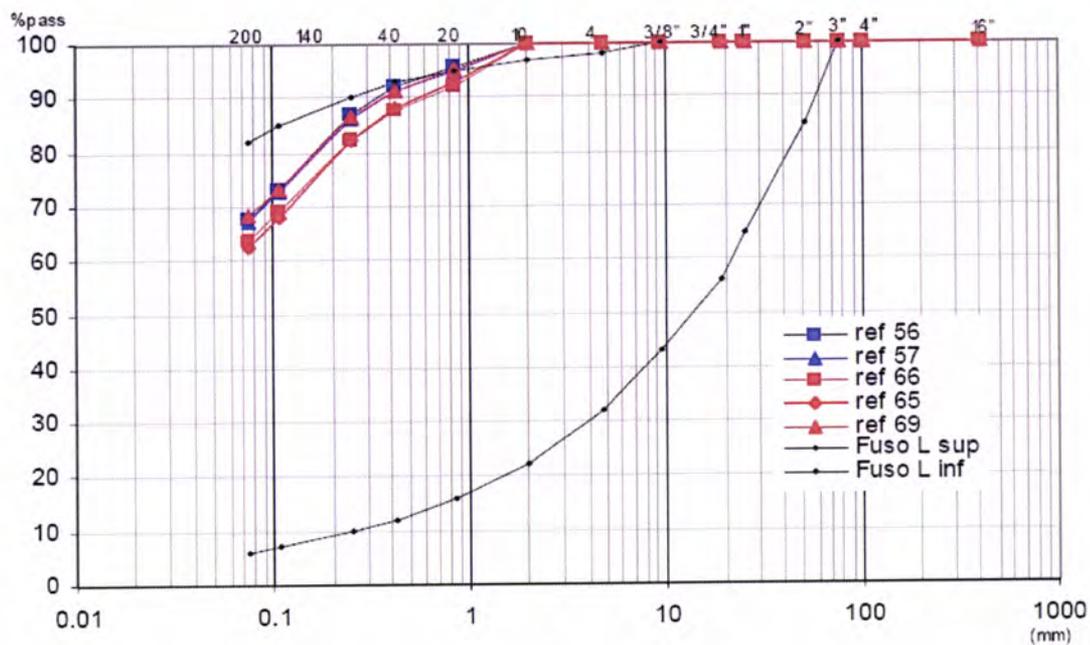


Figura 18: Curva granulométrica das amostras de referência 56, 57, 66, 65 e 69, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia e a preto os limites do fuso granulométrico. (Fonte: Laboratório de obra)

Quadro 14: Limite de liquidez, índice de plasticidade e densidade das partículas das amostras de referência do núcleo. (Fonte: Laboratório de obra).

Amostra	Descrição	WL	IP	G
56	Colhida na mancha de empréstimo	43	24	2,88
57	Colhida na mancha de empréstimo	44	25	2,86
66	Mistura das garrafas de areia 25,27 e 29 da faixa w_{opm}	42	21	2,77
69	Mistura das garrafas de areia 32,34 e 36 da faixa $w_{opm}+2\%$	43	22	2,75
65	Mistura das garrafas de areia 20,22 e 24 da faixa $w_{opm}-2\%$	40	23	2,74

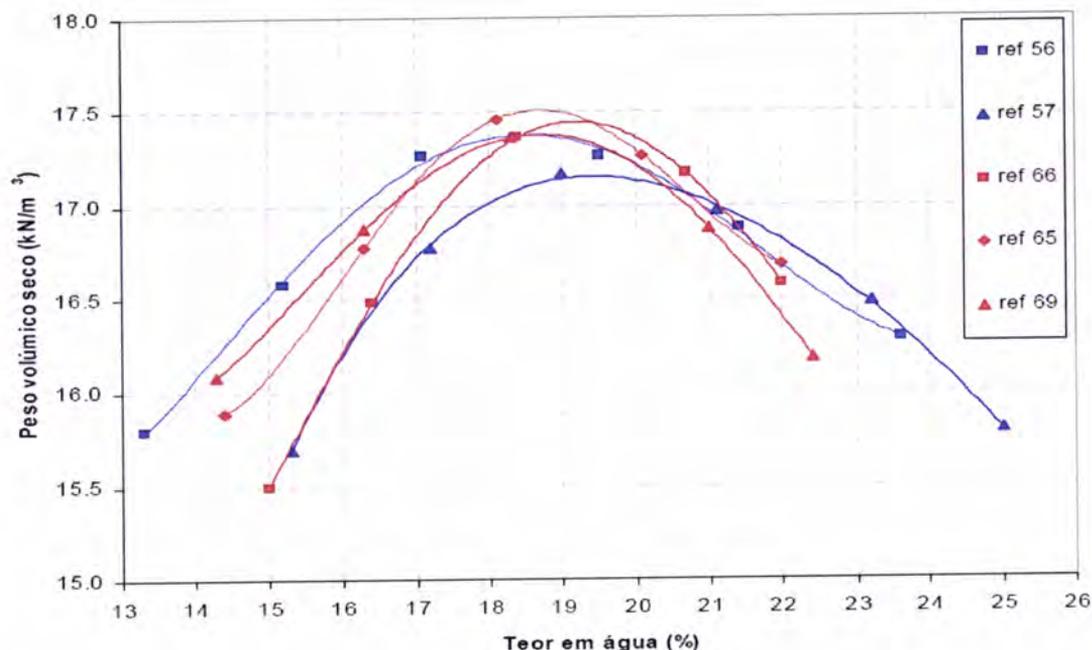


Figura 19: Resultado dos ensaios Proctor normal das amostras de referência 56, 57, 66, 65 e 69, a azul as amostras colhidas na mancha de empréstimo, a vermelho as amostras obtidas por mistura dos solos das garrafas de areia. (Fonte: Laboratório de Obra)

A Figura 18 e Quadro 14, permitem verificar que as curvas granulométricas e os limites de consistência dos solos do núcleo são muito semelhantes. No entanto, os minerais constituintes das amostras colhidas na mancha parecem diferenciar-se dos relativos às amostras extraídas dos aterros experimentais, dado que os pesos volúmicos das partículas sólidas apresentam valores bastante diferentes.

Os resultados dos ensaios de compactação (Figura 19) evidenciam variações do teor em água óptimo entre 18,6 e 19,6% e do peso volúmico seco máximo entre 17,1 e 17,5 kN/m³, desenquadrando-se a amostra 57 das restantes. Excluindo esta amostra, que não foi utilizada na interpretação subsequente dos ensaios, o intervalo de variação do peso volúmico máximo foi de 0,15 kN/m³ (reduzida variação) e o intervalo de variação do teor em água óptimo de 0,6%.

Em cada uma das faixas do aterro experimental foram realizados 6 ensaios com garrafa de areia e as respectivas determinações do teor em água por secagem em estufa. Numa fase inicial os valores do grau de compactação (GC) e do desvio do teor em água (Δw) foram

calculados tomando como referência os resultados dos ensaios de Proctor normal da amostra 56.

Os resultados determinados e as curvas de compactação deduzidas encontram-se resumidos, respectivamente, na Figura 20, em termos de valores médios, e Figura 21, quando consideradas apenas os pontos correspondentes às amostras de referência.

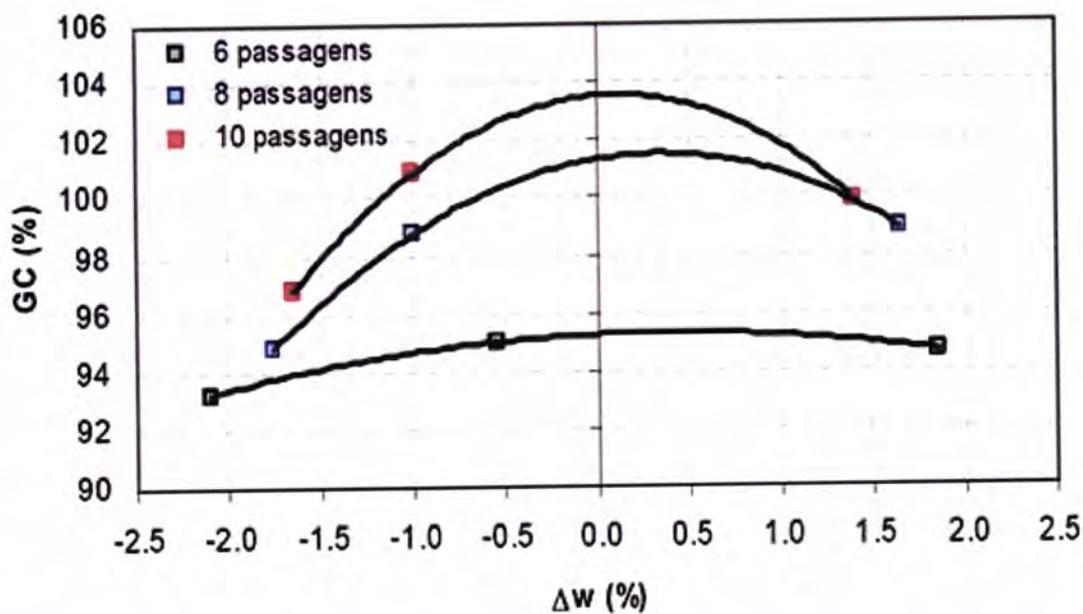


Figura 20: Curvas de compactação após 6, 8 e 10 passagens considerando os valores médios dos aterros do núcleo.

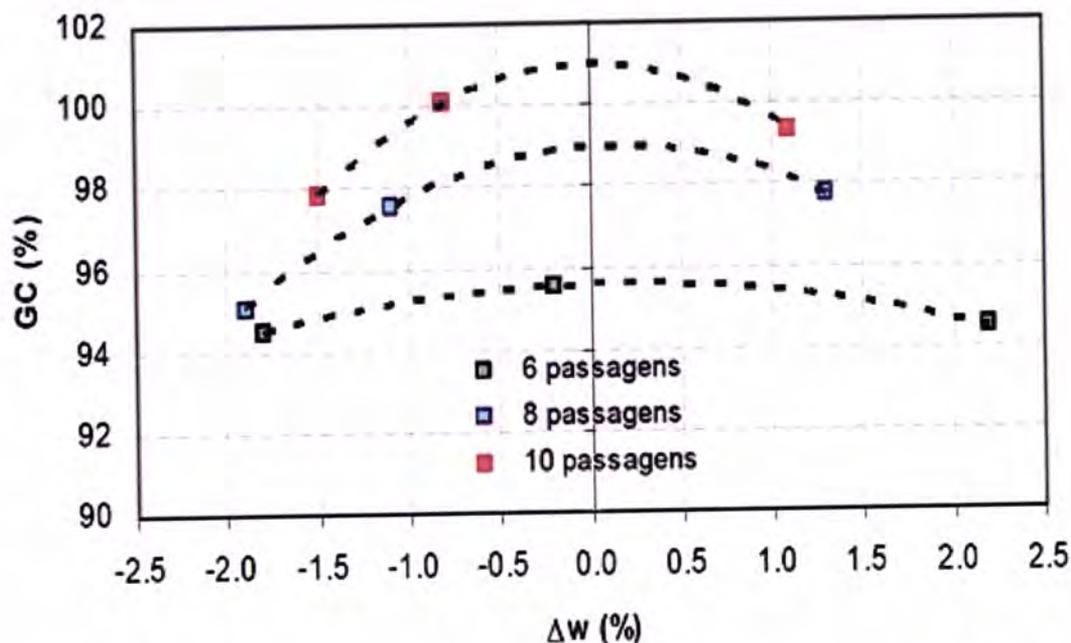


Figura 21: Curvas de compactação após 6, 8 e 10 passagens considerando os valores das garrafas de areia das misturas de referência dos aterros.

Em resumo, e de acordo com o Projecto de execução, o intervalo máximo admitido para a variação do desvio do teor em água é de -0,5% a +1,5% e o grau de compactação mínimo exigido é de 98%, os materiais deverão apresentar percentagens de finos não inferiores a 30%, limite de liquidez não superior a 50% e índice de plasticidade não superior a 25%.

A análise dos resultados dos ensaios realizados nos aterros experimentais do núcleo permitiu concluir que:

- Os materiais utilizados estão contidos no fuso granulométrico previsto no projecto;
- Para o intervalo de teor em água admitido e 10 de passagens do cilindro, os valores do grau de compactação cumprem os requisitos do Projecto de Execução;

Em face do exposto, foi proposto que a execução dos aterros definitivos do núcleo se realizasse com uma espessura de camada após compactação de 0,40 m, após 10 passagens do cilindro compactador.

5 - Conclusões e recomendações

Procurou-se identificar e caracterizar nos capítulos anteriores alguns dos principais problemas detectados durante a fase de construção da barragem do Pisão, e que, como tal, condicionaram a sua execução.

Tendo bem presente que a diversidade, abrangência e em especial a complexidade dos aspectos equacionados não permitem, no âmbito deste trabalho, uma maior discriminação e aprofundamento, é possível, no entanto, tecer algumas considerações sobre requisitos e actividades que se prendem com este tipo de projectos. Paralelamente, apresentam-se algumas sugestões que possam servir de orientação para futuros projectos a implementar, e que se sistematizam nos pontos seguintes.

5.1 Fundação da barragem

A ocorrência de uma camada de areia e burgau muito permeável atravessando obliquamente a fundação vala corta-águas e estabelecendo uma ligação entre a albufeira e jusante, durante a realização de trabalhos de prospecção complementares em fase de obra, bem como, a baixa consistência das aluviões encontrada entre os perfis P90 e P250, obrigaram a intervenções no sentido de prevenir e/ou minimizar eventuais evoluções desfavoráveis da situação e melhorar as condições de segurança da obra. Deste modo foram definidas as seguintes soluções:

- Aumento da profundidade da vala corta águas para garantir um encastramento mínimo de 1m no maciço rochoso compacto;
- Remoção da argila aluvionar pouco consistente, até ao substrato rochoso, na fundação do maciço estabilizador de montante;

- Aumento da espessura de saneamento da terra vegetal na fundação do maciço estabilizador de jusante;
- Colocação de geotêxtil entre a camada de argila aluvionar e a base do aterro do maciço estabilizador de jusante.

As soluções preconizadas levaram a um incremento de trabalhos ao nível das escavações e posteriormente dos respectivos aterros. Condicionaram também, pelo acréscimo de volume necessário de material para aterro, que era limitado, a duração da campanha de prospecção complementar que estava a decorrer.

É pois de salientar a importância dos estudos e trabalhos de reconhecimento e caracterização geotécnica. Estes são uma actividade essencial de aquisição de dados de base para um determinado e específico projecto. Por esse motivo deverão ser fiáveis e consistentes, permitindo uma caracterização geotécnica de base perto da realidade, fundamentando assim os estudos subsequentes de definição das soluções. Neste caso específico e atendendo às difíceis condições geológico-geotécnicas espectáveis, até pelo facto da barragem estar localizada sobre a falha de Messejana, porventura era importante que a campanha geotécnica efectuada traduzisse, no essencial, mais e melhor informação.

Face ao exposto, houve a necessidade de fazer uma revisão permanente das peças de projecto, adequando-as às situações realmente encontradas, o que foi conseguido através de uma disponibilidade permanente da equipa de projecto e para isso muito contribuindo também o facto da equipa de fiscalização e o empreiteiro terem um profundo conhecimento desta problemática.

5.2 Manchas de empréstimo

Sobre este tema importa referir que a obra em causa é uma barragem de aterro, pelo que é obviamente de extrema importância a disponibilidade de material para esse fim, e que a falta deste condiciona o tipo de solução preconizada.

A campanha de prospecção complementar realizada durante a empreitada de construção e iniciada, correctamente, no segundo mês de trabalhos, prolongou-se durante um período de 5 meses condicionando, desta forma, o início dos aterros experimentais. Durante este trabalho surgiu, para além da necessidade de um adensamento da malha prevista nas manchas de projecto, a necessidade de realização de dezenas de poços e ensaios em novos locais que não estavam expropriados e que, como tal, requerem acordo do proprietário ou em alternativa, um processo moroso de posse administrativa, condicionando desta forma o encadeamento do programa de trabalhos.

Assim, importa de futuro, reflectir, ainda em fase de projecto, sobre a importância de um apoio aos estudos através de um programa de reconhecimento e ensaios de caracterização geológica-geotécnica, aferidos em quantidade e qualidade à situação real, tendo sempre presente que um pequeno incremento no investimento durante esta fase, corresponde normalmente a uma poupança significativa em fase de obra.

5.3 Aterros experimentais

Inicialmente considerou-se realizar o aterro experimental com o procedimento descrito no ponto 4.5 do presente trabalho, mas prevendo ensaiar três espessuras de camadas, de 0,30; 0,40 e 0,50cm.

Durante a execução do mesmo verificou-se uma elevada dispersão dos resultados, em ambos os materiais, não permitindo obter conclusões. Numa das visitas de inspecção da autoridade durante a construção da Barragem, foram examinados com o LNEC os procedimentos de execução, tendo-se concluído que a dispersão dos resultados se devia à insuficiente homogeneização dos materiais aplicados nas camadas experimentais. Por esse motivo, foi decidido suspender o aterro experimental e dar início a uma versão mais simplificado para evitar atrasos irrecuperáveis no planeamento da obra.

Nesta “segunda fase” dos aterros experimentais, descrita no capítulo 4.5 do presente trabalho, seguiu-se um procedimento idêntico à fase anterior, mas apenas se ensaiou uma espessura de camadas de 0,40 cm, tanto para o material tipo 1 como para o material tipo 2. O processo de homogeneização foi melhorado e os resultados obtidos permitiram obter conclusões que se apresentam neste trabalho.

Esta dificuldade na homogeneização de materiais naturais, que são por norma intrinsecamente anisotrópicos e heterogéneos, tornam a sua parametrização e modelação do seu comportamento muito difícil. Assim, se num aterro experimental, onde todo o processo é controlado, é difícil obter uma correcta homogeneização dos materiais, mais difícil se torna o processo aquando da construção dos aterros. Por este motivo torna-se importante que esteja previsto, no caderno de encargos, a realização de depósitos provisórios evitando deste modo que a mistura seja efectuada directamente no próprio aterro.

Por fim, espera-se que o presente trabalho possa contribuir para que algumas das matérias tratadas sejam, no curto prazo, objecto de alguma reflexão e desta forma que venham a promover a divulgação e a aceitação de abordagens orientadas para a limitação dos factores condicionantes na aplicação de projectos semelhantes.

Bibliografia

ARAÚJO, A. (1992). Tectónica da Zona de Ossa Morena. Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000, notícia explicativa da folha 8. Coord. de J. T. Oliveira. Serv. Geol. Portugal, pp. 44 46.

AQUALOGUS; TETRAPLANO. (2003). Barragem do Pisão- Reformulação do Projecto de Execução. Empresa de Desenvolvimento e Infra Estruturas do Alqueva (EDIA). Beja.

BRANDÃO, C; RODRIGUES, R; COSTA, JOAQUIM P. (2001). Análise de fenómenos extremos, precipitações intensas em Portugal Continental, Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, J.M;PINTO,P. (1996) – Recursos Hídricos do Alentejo. Perspectivas de Utilização Sustentável. Coleção “Publicações Universidade de Évora”. Évora.

FONSECA, P. (1995). Estudo da Sutura Varisca no SW Ibérico nas Regiões de Serpa – Beja – Torrão e Alvito – Viana do Alentejo. Dissertação de doutoramento, apresentada à Faculdade de Ciências da universidade de Lisboa. Lisboa. 325 p.

HEC. (2002). Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers, Davis, EUA. Approved for Public Release – Distribution Unlimited CPD-74B.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. (2006).

Barragem do Pisão - Análise e Interpretação dos Resultados dos Aterros Experimentais.
Relatório 199/06 – NBOA. Lisboa.

PIMENTA, L. (2008). Abordagens de Riscos em Barragens de Aterro.
Dissertação elaborada no LNEC para obtenção de o grau de Doutor em Engenharia
Civil. Universidade Técnica de Lisboa.

QUINTELA, A. C. (1996). “Hidrologia e Recursos Hídricos”. Instituto
Superior Técnico.

SANCHES, R; PEDRO J. O. (2006). Alqueva - Empreendimento de Fins
Múltiplos. Empresa de Desenvolvimento e Infra-Estruturas do Alqueva, S.A. 581 pp.

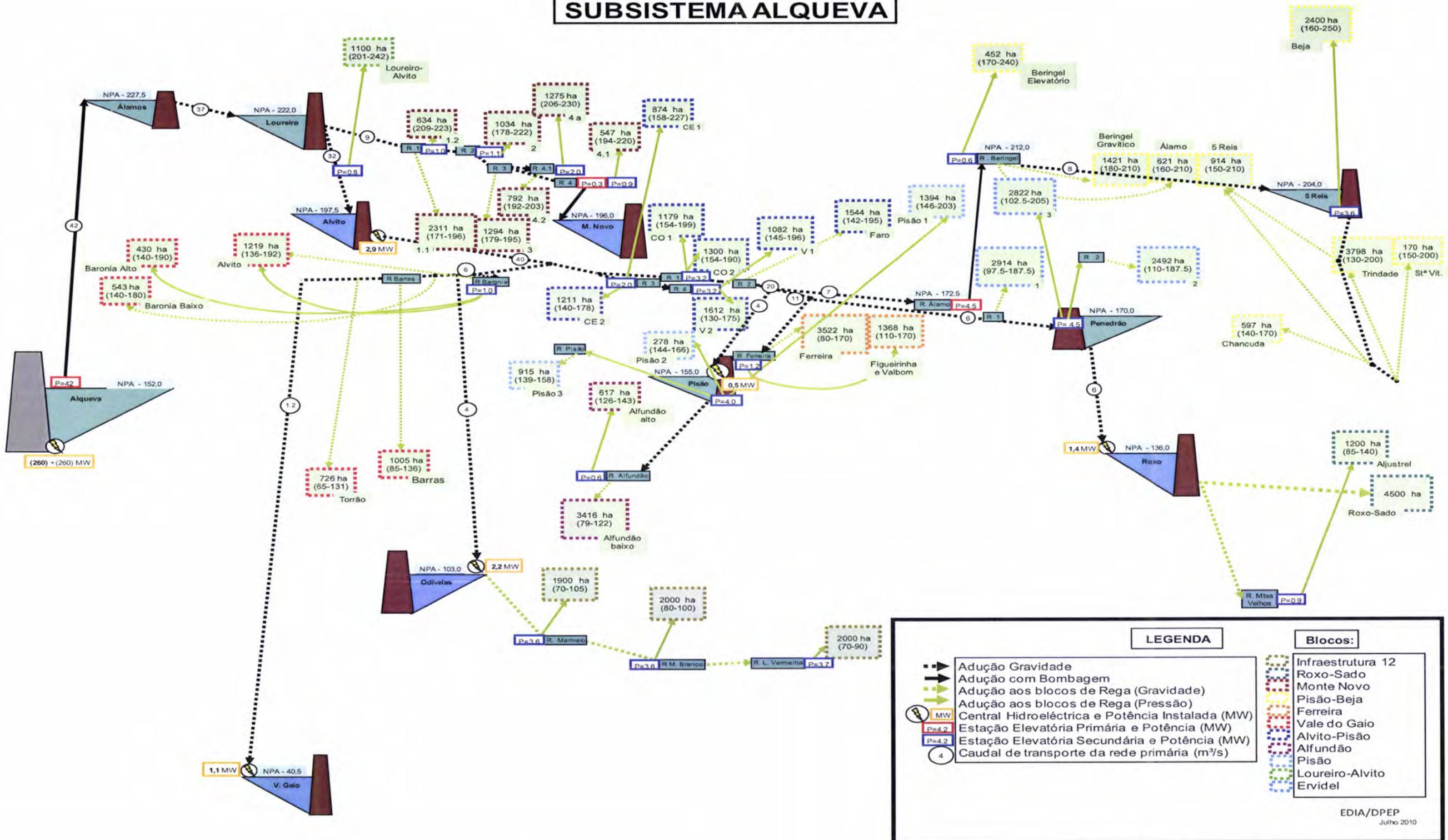
VALLEJO, L.I; FERRER, M; ORTUNÓ, L; OLEO, C. (2002). Ingeniería
Geológica. Madrid, Prentice Hall.

VAZQUEZ, J. (2002). A geotecnia em aproveitamentos hidráulicos,
Conferencia Especial no 8.º Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa.

Anexos

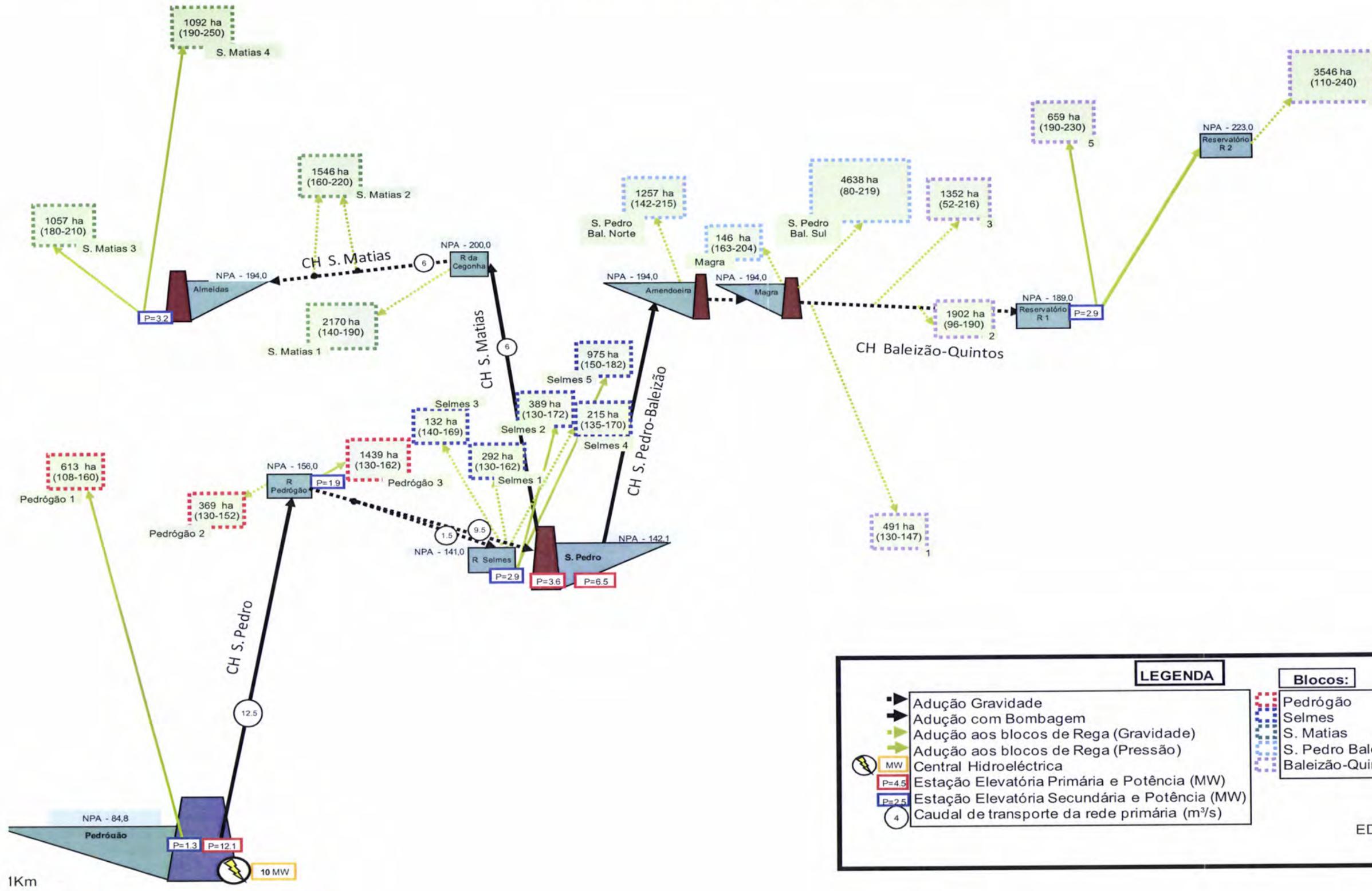
Anexo I

SUBSISTEMA ALQUEVA



Anexo I.I - Esquema de projecto da rede primária do subsistema de Alqueva – (Fonte: EDIA 2010)

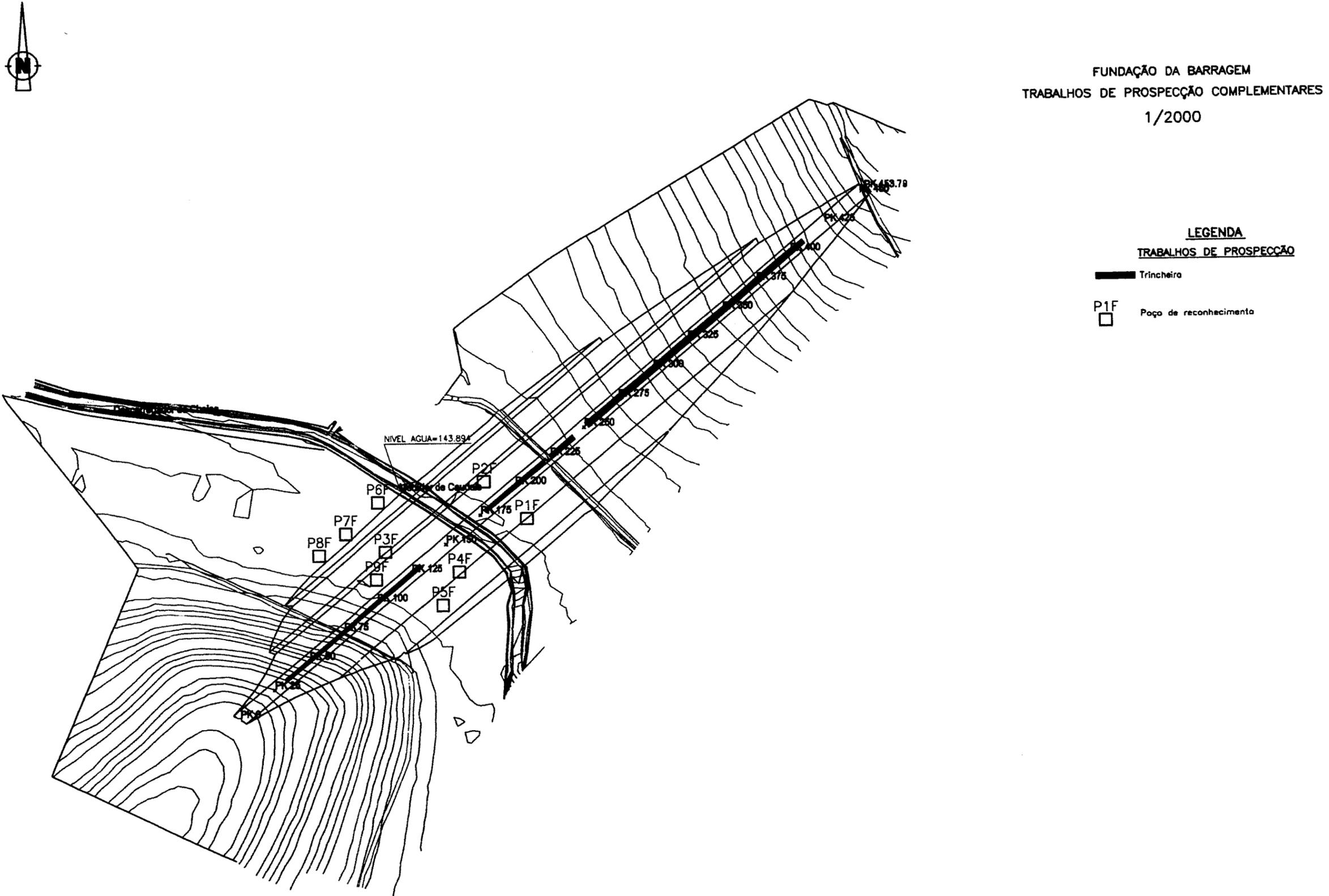
SUBSISTEMA PEDRÓGÃO



1Km

Anexo I.III - Esquema de projecto da rede primária do subsistema do Pedrógão – (Fonte: EDIA 2010)

Anexo II



Anexo II.I, - Fundação da barragem, localização dos trabalhos de prospecção complementares.

Empreitada de Construção da Barragem do Pisão	Fundação da Barragem ENSAIOS DE PERMEABILIDADE IN SITU Local: Vala corta águas margem direita
---	--

Método Rápido Matsu

Determinação da permeabilidade a partir da velocidade de descida do plano de água numa cova semi-esférica de diâmetro D

$$V = (H_i - H_f) / \Delta T \quad K = V \cdot D / (D + 4H)$$

$$H = (H_i + H_f) / 2$$

Sendo: V= Velocidade de descida do plano de água, em m/s

D= Diâmetro médio da cova ao nível do plano da água, em m

H= Altura média do plano da água

k= Coeficiente de permeabilidade, em m/s

k do projecto: 10⁻⁷ m/s

Ensaio nº	Data	Localização	D (m)	h (m)	H _i (m)	H _f (m)	ΔT (s)	H (m)	V (m/s)	k m/s	Observações
		Pk									
1	30-Nov-05	0+262	1,30	0,70	0,60	0,40	59400	0,50	3,37E-06	1,3E-06	Saturação
1	01-Dez-05	0+262	1,30	0,70	0,56	0,48	17460	0,52	4,58E-06	1,8E-06	1º leitura
1	01-Dez-05	0+262	1,30	0,70	0,56	0,30	30600	0,43	8,50E-06	3,7E-06	2º leitura
2	30-Nov-05	0+318	1,05	0,70	0,60	0,40	50400	0,50	3,97E-06	1,4E-06	Saturação
2	01-Dez-05	0+318	1,05	0,70	0,63	0,54	16200	0,59	5,56E-06	1,7E-06	1º leitura
2	01-Dez-05	0+318	1,05	0,70	0,63	0,44	29700	0,54	6,40E-06	2,1E-06	2º leitura
3	30-Nov-05	0+406	1,20	0,87	0,75	0,00	50400	0,38	1,49E-05	6,6E-06	Saturação
3	01-Dez-05	0+406	1,20	0,87	0,60	0,30	14400	0,45	2,08E-05	8,3E-06	1º leitura
3	01-Dez-05	0+406	1,20	0,87	0,60	0,15	27000	0,38	1,67E-05	7,4E-06	2º leitura

NOTA 1: h (profundidade máxima da cova)

Nota 2: No ensaio Nº1 apareceu água antes da saturação

Anexo II.II - Ensaios de permeabilidade “*in situ*” pelo método rápido de Matsu.

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DOS POÇOS P1F, P2F, P3F E P4F

Poço P1F (Margem direita, montante do eixo)

0,0 / 0,50 - Terra vegetal castanha escura;

0,5 / 2,05 - Argila castanha escura plástica, consistente (S3) – amostra a 0,70 m;

2,05 / 3,50 – Complexo gábrico totalmente decomposto e brando, constituído por material argiloso amarelado e fragmentos de rocha rija esverdeados – amostra a 3,0 m;

3,50 / 4,20 – Idem, mais compacto. Aparece água aos 3,80 m;

4,20 / 4,50 – Idem, mas mais rijo. A abertura do poço foi interrompida devido ao desabamento das paredes;

Poço P2F (Margem direita, jusante do eixo)

0,0 / 0,50 - Terra vegetal argilosa; castanha escura;

0,50 / 2,50 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

2,50 / 5,00 – Complexo gábrico totalmente decomposto e brando, constituído por material argiloso amarelado e fragmentos de rocha rija – amostra a 3,0. Apareceu água aos 4,50 m.

Nota: Mantém-se a rocha branda até aos 5,00 m. A abertura foi interrompida a esta profundidade, devido ao desabamento das paredes do poço.

Poço P3F (Margem esquerda, jusante do eixo)

0,0 / 0,50 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 2,50 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

2,50 / 3,50 – Cascalheira solta, constituída por fragmentos de rocha pouco rolados e algum material fino, muito permeável. Apareceu água a partir dos 3,0 m. Amostra a 3,50 m constituída por 2 sacos;

3,50 / 4,50 – Complexo gábrico totalmente decomposto em que se conseguiu colher amostras secas.

Poço P4F (Margem esquerda, montante do eixo)

0,0 / 0,50 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 3,50 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3); - Amostra a 1,0 m;

3,50 / 4,50 – Complexo gábrico muito brando, totalmente decomposto que, por desagregação, dá um solo areno-argiloso castanho amarelado com laivos avermelhados que se encontrava seco. A partir de certa altura começou a surgir água por veios existentes na rocha;

4,50 / 5,00 - Idem, um pouco mais rija.

Anexo II.III – Levantamento geológico dos poços P1F, P2F, P3F e P4F.

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DOS POÇOS P5F, P6F, P7F, P8F e P9F

Poço P5F (Margem esquerda, montante do eixo)

0,00 / 0,50 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 3,50 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

3,50 / 4,30 - Complexo gábrico muito brando, totalmente decomposto que, por desagregação, dá um solo areno-argiloso castanho amarelado com laivos avermelhados que se encontrava seco. A partir de certa altura começou a surgir água por veios existentes na rocha;

Poço P6F (Margem esquerda; jusante do eixo; 10m da ribeira; 5m a jusante da saia do aterro)

0,00 / 0,50 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 2,90 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

2,90 / 3,50 - Cascalheira solta, constituída por fragmentos de rocha pouco rolados e algum material fino, muito permeável

3,50 / --- - Complexo gábrico totalmente decomposto

Poço P7F (Margem esquerda; jusante do eixo; ±35m da ribeira; 5m a jusante da saia do aterro)

0,00 / 0,40 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 2,10 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

2,10 / 3,90 - Argila silto-arenosa, passando a cascalheira solta, constituída por fragmentos de rocha pouco rolados e algum material fino, muito permeável. Apareceu água a partir dos 3,50m

3,90 / 4,30 - Complexo gábrico totalmente decomposto de cor esverdeada

Poço P8F (Margem esquerda; jusante do eixo; +-50m da ribeira; 5m a jusante da saia do aterro)

0,00 / 0,40 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 1,90 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

1,90 / 3,50 - Argila silto-arenosa, passando a cascalheira solta, constituída por fragmentos de rocha pouco rolados e algum material fino, muito permeável.

3,50 / 4,30 - Complexo gábrico totalmente decomposto de cor esverdeada

Poço P9F (Margem esquerda, jusante do eixo)

0,00 / 0,40 - Terra vegetal castanha escura;

0,50 / 2,10 - Argila castanha escura, plástica, consistente (S3);

2,10 / 2,90 - Argila silto-arenosa

2,90 / 3,90 - Cascalheira solta, constituída por fragmentos de rocha pouco rolados e algum material fino, muito permeável. Apareceu água a partir dos 3,5 m.

3,90 / 4,20 - Complexo gábrico totalmente decomposto de cor esverdeada

Anexo II.IV – Levantamento geológico dos poços P5F, P6F, P7F, P8F e P9F.

Anexo III

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
ESPECIALIZAÇÃO EM PLANEAMENTO E GESTÃO DA ÁGUA

Poço n.º	Mancha	Profund. (m)	Amostra n.º	T.Água	Granul.	LL	LP	IP	Proctor		Massas V.	Densid. das Particul.	Classific. ASTM	Classific. AASHTO	Descrição após ensaio	Descrição Visual
				%	% # 200	%	%	%	gdmax. g/cm³	Wopt. %	g/cm³					
42	E4	0,0 - 0,5														Terra vegetal
		0,50 - 2,90														Areia silto-argilosa esbranquiçada e avermelhada
		2,90 - 4,20	1082/05		18,6	48	27	21	2,16	10,1			GC	A-2-7 (0)	Cascalho argiloso c/areia	Areia seixo e calhau, acastanhada e esverdeada
42 a	E4	0,0 - 0,3														Terra vegetal
		0,30 - 3,30														Silte arenoso passando a areia c/nódulos esbranquiçados
		3,30 - 4,90	1226/05		14,9	37	24	13	2,07	10,1		2,74	GC	A-2-6 (0)	Cascalho argiloso c/areia	Cascalho c/areia e silte acizentads c/nódulos brancos
43	E4	0,0 - 0,3														Terra vegetal
		0,30 - 3,00	1083/05		8,3	49	28	21	2,12	9,7			GP-GM	A-2-7 (0)	Cascalho c/silte e areia	Seixo e calhau, cinzento acastanhado c/areia
43 a	E4	0,0 - 0,35														Terra vegetal
		0,35 - 1,50														Areia siltosa cinzenta escura
		1,50 - 3,60	1227/05		23,2	42	27	15	1,95	13,2			GM	A-2-7 (0)	Cascalho siltoso c/areia	Areia siltosa c/seixo e calhau, acizentada
44	E4	0,0 - 0,3														Terra vegetal
		0,30 - 4,60	1084/05		16,2	35	21	14	2	11,8			GC	A-2-6 (0)	Cascalho argiloso c/areia	Seixo e calhau c/areia acizentada
44 a	E4	0,0 - 0,30														Terra vegetal
		0,30 - 2,00														Solo esbranquiçado siltoso
		2,00 - 3,80	1228/05		7,1	43	27	16	2,21	7,9			GP -GM	A-2-7 (0)	Cascalho mal graduado c/silte	Cascalheira c/areia siltosa acizentada
45	E4	0,00 - 0,50														Terra vegetal
		0,50 - 1,60														Areia siltosa esbranquiçada
		1,60 - 5,00														Argila castanho avermelhada com laivos esbranquiçados
46	E4	0,00 - 0,30														Terra vegetal
		0,30 - 5,30														Argila acastanhada com nódulos esbranquiçados
47	E4	0,00 - 0,30														Terra vegetal
		0,30 - 1,40														Areia siltosa, esbranquiçada
		1,40 - 4,20	1085/05		10,9	56	29	27	1,88	16,1			GP - GC	A-2-7 (0)	Cascalho mal graduado c/argila e areia	Seixo e calhau com areia cinzenta esverdeada
47	E4	0,00 - 0,30														Terra vegetal
		0,30 - 2,10														Silte arenoso esbranquiçado
		2,10 - 4,50	1229/05		5,9	50	27	23	2,01	12			GW - GC	A-2-7 (0)	Cascalho bem graduado c/argila e areia	Areia siltosa com seixo e calhau acizentado
48	E4	0,00 - 0,50														Terra vegetal
		0,50 - 5,30	1087/05		10,8	31	23	8	2,12	9,2			GM	A-2-4 (0)	Cascalho siltoso c/areia	Rocha branda ripavel, que origina uma granulometria de calhau e seixo c/areia acastanhada
49	E4	0,00 - 1,00														Terra vegetal
		1,00 - 2,90														Areia siltosa, esbranquiçada
		2,90 - 5,20														Silte argiloso, acastanhado c/nódulos esbranquiçados
49 a	E4	0,00 - 1,70														Terra vegetal
		1,70 - 4,30	1086/05		26,7	34	23	11	2,12	8,8			GC	A-2-6 (0)	Cascalho argiloso	Cascalheira c/areia proveniente da fragmentação da rocha

Anexo III.I – Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E4.

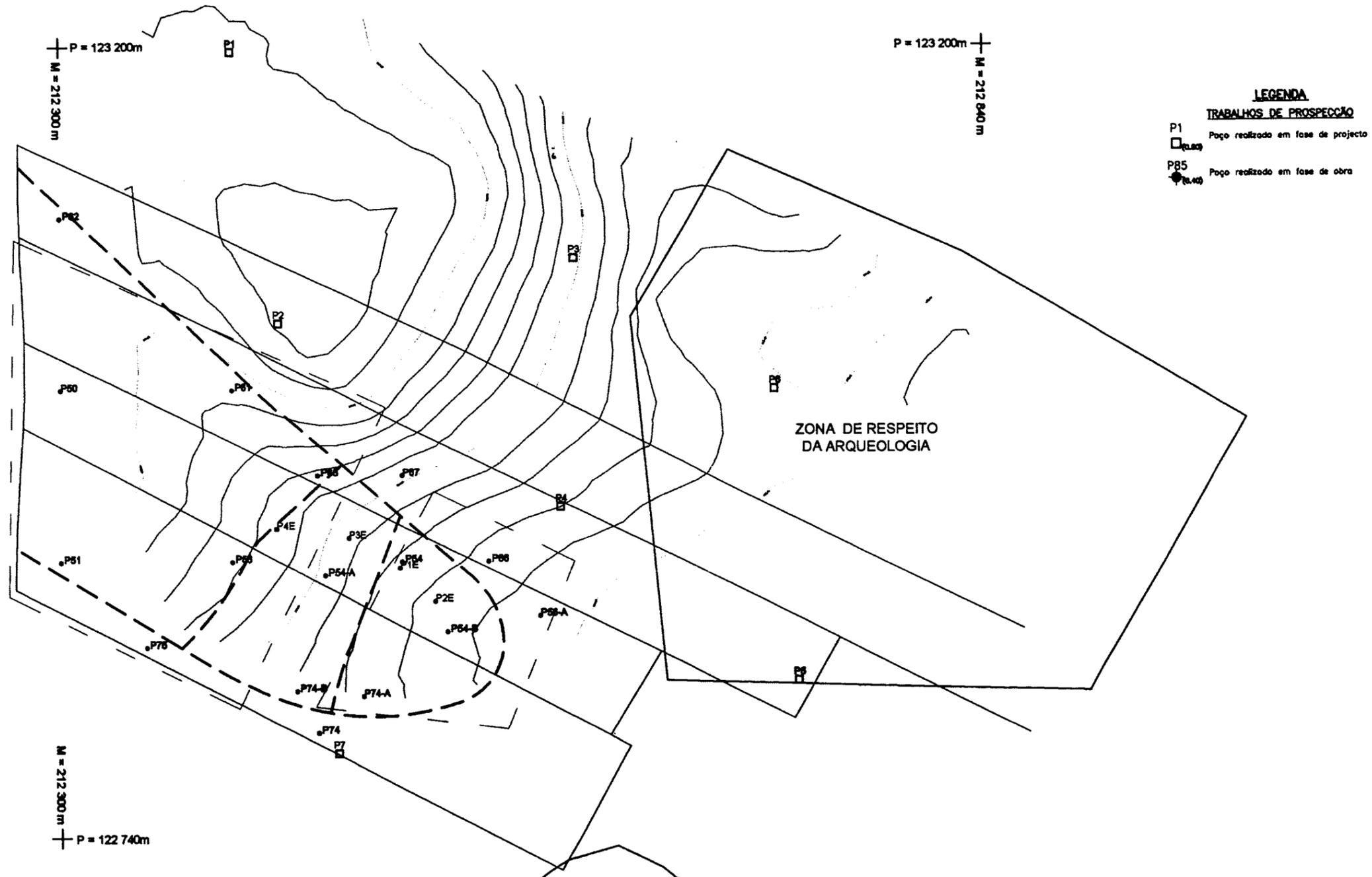
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
ESPECIALIZAÇÃO EM PLANEAMENTO E GESTÃO DA ÁGUA

Poço n.º	Mancha	Profund. (m)	Amostra n.º	T.Água %	Granul. % # 200	LL %	LP %	IP %	Proctor		Massas V. g/cm³	Densid. das Particul.	Classific. ASTM	Classific. AASHTO	Descrição após ensaio	Descrição Visual	
									gmax. g/cm³	Wopt. %							
50	E5	0.0 - 0.4															
		0.4 - 4.1	1108/05	4.9	4.5	31	21	10	2.35	6.6			GP:GC	A-2-40 (0)	Cascalho mal graduada c/argila e areia	Cascalheira com areia proveniente da fragmentação da rocha	
53	E5	0.7 - 3.1	1111/05	8.8	13.1	27	20	7	2	13.1			SC	A-2-40 (0)	Areia argilosa c/ cascalho	Areia siltosa com seixo e calhaus, acastanhada proveniente da fragmentação da rocha	
54	E5	0.0 - 1.1														Terra vegetal e argila castanha escura	
		1.1 - 3.5	1109/05	13.4	34.3	32	18	14	1.93	14			SC	A-2-6 (1)	Areia argilosa	Areia silto-argilosa, castanha	
		3.5 - 5.3	1110/05	25.9	64.5	35	19	16	1.56	20.6			CL	A-6 (8)	Argila magra arenosa	Argila castanha e esbranquiçada	
54A	E5	0.0 - 0.4														terra vegetal	
		0.4 - 2.3														Areia siltosa castanha	
54B	E5	0.0 - 0.3														Terra vegetal	
		0.3 - 1.5	1			48	23	25								Argila castanha escura	
		1.5 - 1.8															Argila siltosa castanha clara
		1.8 - 3.2	2			39	21	18									Argila compacta castanha escura, c/ superfície espelhada
		3.2 - ?															Argila esbranquiçada
56	E5	0.0 - 0.4														Terra vegetal	
		0.4 - 1.1														Areia siltosa, esbranquiçada	
		1.1 - 3.1	1112/05	46.6	34	78	41	37	1.26	29.2			SM	A-2-7 (5)	Areia siltosa	argila, castanha escura	
56A	E5	3.1 - ?														Areia siltosa, esbranquiçada c/ fragmento de rocha	
		0.0 - 0.3														Terra vegetal	
57	E5	0.3 - 1.2														Argila castanha escura	
		0.0 - 0.5														Terra vegetal	
		0.5 - 1.9	1113/05	23.1	78.9	37	24	13	1.52	23.6			CL	A-6 (10)	Argila magra com areia	Areia fina silto-argilosa, acastanhada	
58	E5	1.9 - 5.7	1114/05	34	29.5	88	34	54	1.4	24.2			SC	A-2-7 (6)	Areia argilosa com cascalho	Argilo siltosa, cinzenta escura	
		0.0 - 0.7														Terra vegetal	
		0.7 - 1.3															silte esbranquiçados
60	E5	1.3 - 5	1115/05	41.9	66.6	91	43	48	1.26	25.6			MH	A-7-5 (34)	Silte elástico arenoso	Argila siltosa, cinzenta e acastanhada com nódulos brancos	
		0.0 - 0.4															Terra vegetal
61	E5	0.4 - 3.7	1138/05	23.8	54.1	45	25	20	1.55	23.4			CL	A-7-6 (8)	Argila magra arenosa	Areia silto-argilosa, acastanhada c/ passagens rosadas e acastanhadas	
		3.7 - ?															Areia siltosa, com nódulos esbranquiçados, que assenta na fragmentação da rocha
62	E5	0.0 - 0.5														Terra vegetal	
		0.5 - 4.1	1116/05	7.7	8.5	31	19	12				17	GW:GC	A-2-6 (0)	cascalho bem graduado com argila e areia	Cascalheira com areia proveniente da fragmentação da rocha	
63	E5	0.0 - 0.4														Terra vegetal	
		0.4 - 3	1139/05	4.9	5.6	NP	NP	NP	2.18	10			GW:GM	A-1-a (0)	cascalho bem graduado com argila e areia	Areia siltosa com seixo e calhaus, acastanhada com um veio de material branco	
		0.0 - 0.4															Terra vegetal
64	E5	0.4 - 2.5	1117/05	20	96.5	33	24	9	1.54	22			ML	A-4 (9)	Silte	Argila siltosa, acastanhada e esbranquiçada	
		2.5 - 3.6	1118/05	20.9	65.7	42	22	20	1.63	16.9			CL	A-7-6 (12)	Argila magra cascalhenta	Argila siltosa, rosada	
		3.6 - 4.8															Areia silto-argilosa, rosada
65	E5	0.0 - 0.5														Terra vegetal	
		0.5 - 2.3	1140/05	14.6	93	33	25	8	1.48	20.8			ML	A-4 (8)	Silte	Silte argiloso, esbranquiçado	
		2.3 - 3.6	1141/05	24.8	52.3	48	22	26	1.56	17.7			CL	A-7-6 (10)	Argila magra arenosa com cascalho	Argila siltosa, castanha, com nódulos brancos	
66	E5	3.6 - 4.2														Areia silto-argilosa, rosada, mas que passa a rocha fragmentada com a profundidade	
		0.0 - 0.3														Terra vegetal	
		0.3 - 1.6	1142/05	18.4	87.3	33	25	8	1.5	24.4			ML	A-4 (7)	Silte	Areia silto-argilosa esbranquiçada	
67	E5	1.60 - 4.9	1143/05	21.7	57.4	58	26	32	1.61	18.6			CH	A-7-6 (16)	Argila gorda cascalhenta com areia	Argila, castanha escura	
		4.9 - ?														Rocha fragmentada pela máquina	
		0.0 - 0.3															Terra vegetal
68	E5	0.3 - 1														Argila castanha escura	
		1 - 1.9															Argila acastanhada com nódulos brancos
		0.0 - 0.4															Terra vegetal
69	E5	0.4 - 2.2														Solos esbranquiçados silto-argilosos, com nódulos castanhos muito plasticos	
		2.2 - 3.2															Transição de solos esbranquiçados para argilas castanha escura
		3.2 - 4															Argila castanha escura
70	E5	0.0 - 0.3														Terra vegetal	
		0.3 - 0.7															Argila arenosa castanha
		0.7 - 3.0	1279/05		47,3	29	23	6	1,89	14,6	2,84			SM	A-4 (0)	Areia siltosa	Gabro alterado - areia siltosa castanha
71	E5	0.0 - 0.40														Terra vegetal	
		0.40 - 2.20															Solo argiloso esbranquiçado com nodulos argilosos muito plasticos
		2.20 - 3.00															Solo argiloso rosado com laivos esbranquiçados
74A	E5	0.0 - 0.3														Terra vegetal	
		0.3 - 1,3	3			43	23	20									Argila castanha escura
		1.30 - 4.0	4			28	17	11									Argila siltosa castanha clara
74B	E5	0.0 - 0.3														Terra vegetal	
		0.3 - 0.7															Argila castanha
		0.7 - ?															Argila castanha/Areia siltosa castanha esverdeada
75	E5	0.0 - 0.3														Terra vegetal	
		0.30 - 1.9															Argila castanha escura
		1.9 - 3.5															Gabro - cascalheira com areia siltosa castanha

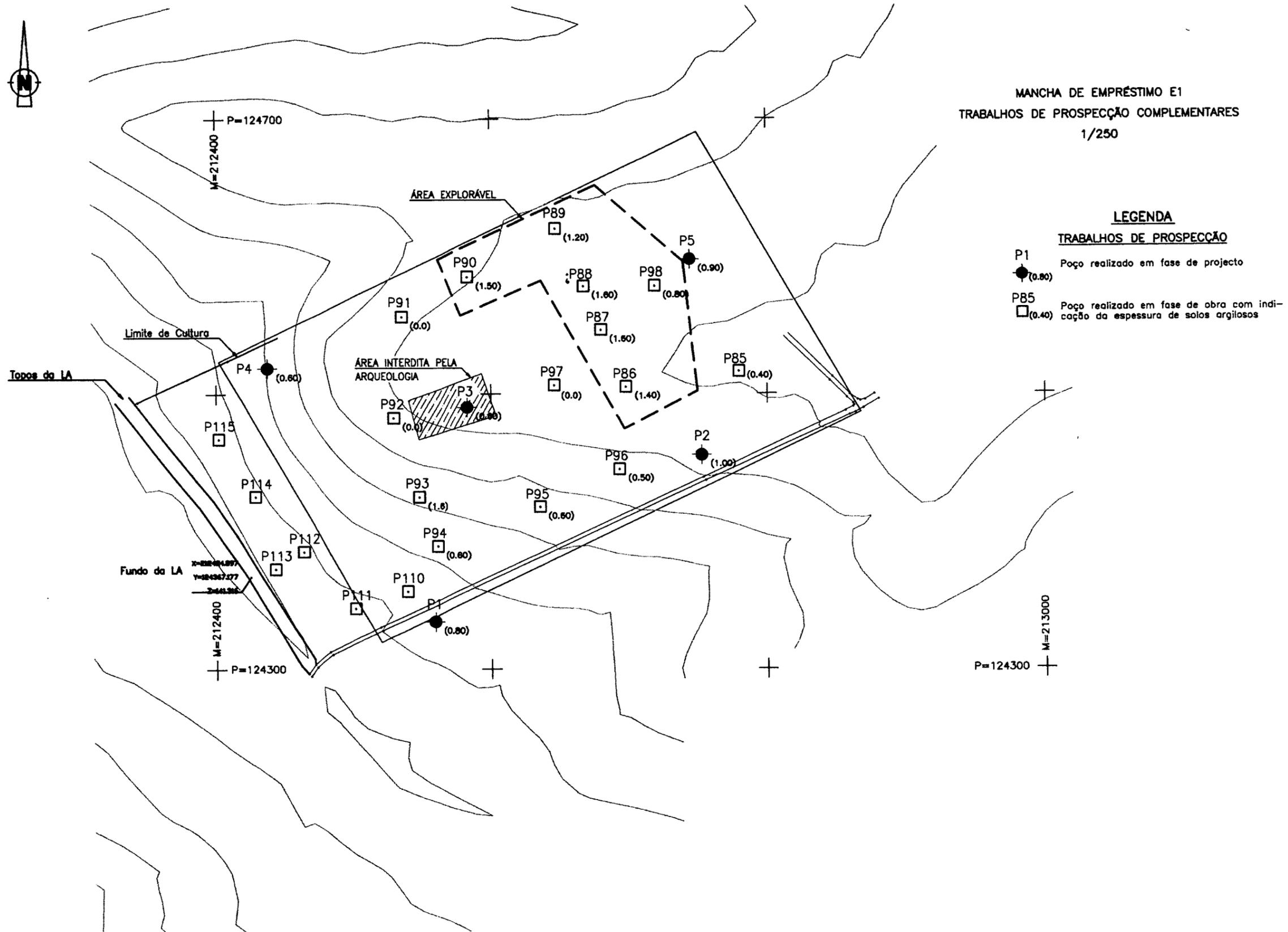
Anexo III.II – Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E5.



MANCHA DE EMPRÉSTIMO E5
TRABALHOS DE PROSPECÇÃO COMPLEMENTARES
1/250



Anexo III.III – Localização dos trabalhos prospecção complementares na mancha E5.



Anexo III.IV – Localização dos trabalhos prospeção complementares na mancha E1.

Poço n°.	Mancha	Profund. (m)	Amostra n°.	T.Água	Granul.	LL	LP	IP	Proctor		Massas V.	Densid. das Particul.	Classific.	Classific.	Descrição após ensaio	Descrição Visual
				%	% # 200	%	%	%	gdmax. g/cm³	Wopt. %	g/cm³		ASTM	AASHTO		
86	E1	0,0-0,40														Terra Vegetal
		0,40-1,40	006	22		41	21	20								Argila castanha avermelhada
		1,40-2,00														
93	E1	0,0-0,20														Terra Vegetal
		0,20-1,60	007	18		38	20	18								Argila castanha clara
110	E1	0,0-0,20														Terra vegetal
		0,20-1,10	014		68	41	23	18					CL	A-7-6 (10)	Argila arenosa cast.	Argila castanha avermelhada
		1,10-1,50														
111	E1	0,0-0,20														Terra vegetal, argilosa cast.
		0,20-0,70														Argila castanha avermelhada
		0,70-1,30	015		26	42	24	18					SC	A-2-7 (1)	Areia argilosa c/seixo, cast. amarelada	Gabro muito fissurado e muito alterado
113	E1	0,0-0,20														Terra Vegetal
		0,20-1,00	016		65	41	23	18					CL	A-7-6 (9)	Argila arenosa castanha	Argila castanha
		1,00-2,10	017			45	24	21								
114	E1	0,0-0,20														Terra Vegetal
		0,20-0,60														Argila Castanha
		0,60-1,50	018	-	38	49	30	19	-	-	-	-	SM	A-7-5 (3)	Areia siltosa, cast. amarelada	Argila castanha amarelada ou alteração do maciço

Anexo III.V – Quadro resumo dos poços e ensaios de laboratório na mancha E1