



Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

**Estruturas de Correção Torrencial nas Ribeiras do  
Funchal – Açudes.  
Inventariação e análise comparativa.**

Licenciado em Engenharia Civil (Pós-Bolonha)

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade da Madeira por

**JOÃO JOAQUIM SILVA REIS**

Orientador

Prof. Doutor Sérgio António Neves Lousada

*(Universidade da Madeira)*

setembro de 2015

**Título:** Estruturas de Correção Torrencial nas Ribeiras do Funchal – Açudes. Inventariação e análise comparativa.

**Palavras-Chave:** Aluvião; Inventário; Transporte sólido; Açudes; Ribeira João Gomes; Ribeira Santa Luzia; Ribeira São João; Funchal.

**Key works:** Flood; Stocktaking; Sediment transport; Dams; Ribeira João Gomes; Ribeira Santa Luzia; Ribeira São João; Funchal.

Autor: JOÃO REIS

FCEE – Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário de Penteadá

9020-015 Funchal – Portugal. s/n

Telefone +351 291 705 230

Correio eletrónico: [secretariadocentros@uma.pt](mailto:secretariadocentros@uma.pt)

Funchal, Madeira

À memória do meu pai



# Resumo

A presente dissertação tem como propósito a elaboração de um inventário relativo às estruturas de correção torrencial construídas no concelho do Funchal.

Na sequência da aluvião do dia 20 de fevereiro de 2010, resultante de um período prolongado de chuva na ilha da Madeira, aliada ao facto desta ter um relevo muito pronunciado e extremamente acidentado, originaram-se os movimentos de vertente que, na sua grande maioria, são responsáveis pela ocorrência de cheias rápidas. Pois as bacias hidrográficas da ilha são de pequena dimensão e conseqüentemente as suas ribeiras, dão origem a tempos de concentração muito reduzidos. Desta forma, as ribeiras que são alimentadas pelo escoamento líquido e sólido, tornam-se num agente erosivo e potenciam um rasto de destruição.

Esta aluvião teve conseqüências devastadoras em toda a vertente sul da ilha da Madeira, no entanto, este trabalho, focou-se apenas no concelho do Funchal, no qual existem três ribeiras onde foram implantadas as estruturas de correção torrencial, designadas por açudes, que constituem o âmago deste estudo, através da inventariação destas estruturas e posterior elaboração de uma ficha de inventário relativa a cada uma delas.

Inicialmente, procedeu-se à identificação de todos os açudes, à verificação e análise das condições dos locais intervencionados, além de um levantamento fotográfico para execução posterior de um enquadramento geográfico dos mesmos.

Foram abordadas algumas considerações de carácter hidrológico, hidráulico e transporte de caudal sólido, que são a base dimensional e a razão da execução dos referidos açudes.

Numa fase posterior, foi elaborada uma base de dados com a informação disponível dos vários açudes identificados, munida de valor ímpar para futuros desenvolvimentos nesta área no curso de engenharia civil na Universidade da Madeira.

Por fim, são expostas algumas considerações relativamente aos diferentes modelos de estruturas de correção torrencial encontrados na pouca bibliografia especializada e implantados no terreno.

**Palavras-chave:** Aluvião; Inventário; Transporte sólido; Açudes; Ribeira João Gomes; Ribeira Santa Luzia; Ribeira São João; Funchal.



# Abstract

This dissertation has the purpose of drawing up an inventory on the torrential correction structures built in the municipality of Funchal.

Following the flood of the day February 20th, 2010, resulting from a prolonged period of rain on the island of Madeira, coupled with the fact that this island has a very pronounced and extremely rugged orography, the landslide originated are, for the most part responsible for the occurrence of flash floods. As the river basins of the island are small and consequently the rivers themselves, originating very low concentration of waters in a short times. Thus, the streams are fed by liquid and solid flow, and become an erosive agent enhancing and a track of destruction.

This flood has had devastating consequences across the south side of the island of Madeira, however, this work is focused only on the municipality of Funchal, where there are three streams where torrential correction structures were established, called dams, which are the core of this study, through the inventory of these structures and further elaboration of an inventory sheet for each one.

Initially, the identification of all dams was carried out and then the verification and analysis of the conditions of the intervened area and lastly a photographic survey for later execution of a geographic framework of each of them.

We addressed some considerations of the hydraulics and of the transportation of solid flow that are the dimensional basis and the reason for the implementation of these dams.

At a later stage, a database was prepared with the information available from the various identified dams, armed with odd value for future developments in this area in the civil engineering course at the University of Madeira

Finally, some considerations are made about the different models of torrential correction structures found in the little specialized literature available and deployed in the field.

## **Key words:**

Flood; Stocktaking; Sediment transport; Dams; Ribeira João Gomes; Ribeira Santa Luzia; Ribeira São João; Funchal.



# Agradecimentos

Para a realização desta dissertação de mestrado não podia deixar de exprimir o meu profundo agradecimento a todos os que contribuíram para que este trabalho fosse possível:

Ao meu orientador, Doutor Sérgio Lousada, quer pela sua disponibilidade, motivação e incentivo, quer pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas da UMa, que direta ou indiretamente contribuíram com apoio e ajuda. A todos gostaria de deixar o meu muito obrigado, em especial àqueles com quem convivi e me deram muita força nesta última etapa.

Ao amigo e colega José Carlos pela preciosa ajuda no levantamento de campo e organização dos dados recolhidos.

Por último, o meu mais sincero e profundo agradecimento à minha mãe, às minhas irmãs e irmãos, pela motivação, paciência e apoio que sempre me transmitiram, pois sem eles não teria ultrapassado esta etapa.



# Índice de texto

Resumo.....	V
Abstract .....	VII
Agradecimentos.....	IX
Índice de texto .....	XI
Índice de figuras .....	XV
Índice de quadros .....	XIX
Lista de abreviaturas e siglas.....	XXI
Simbologia .....	XXIII
1. Introdução .....	1
1.1 Primeiras considerações.....	2
1.2 Função dos açudes .....	6
1.3 Objetivos.....	10
1.4 Metodologia de desenvolvimento .....	10
1.5 Organização e apresentação da dissertação .....	12
2. Caracterização da Ilha da Madeira.....	15
2.1 Introdução .....	16
2.2 Localização geográfica da RAM e concelho do Funchal.....	16
2.2.1 RAM .....	16
2.2.2 Concelho do Funchal .....	17
2.3 Geologia da ilha da Madeira .....	19
2.4 Geomorfologia da ilha da Madeira .....	22
2.4.1 Forma.....	22
2.4.2 Orografia e relevo da ilha da Madeira .....	22
2.5 Caracterização climatológica da ilha da Madeira .....	23
2.5.1 Vento.....	24
2.5.2 Temperatura.....	25

2.5.3	Precipitação.....	27
2.5.4	Humidade.....	28
2.5.5	Precipitação oculta - nevoeiros .....	29
2.6	Hidrogeologia.....	31
2.7	Caracterização hidrográfica da ilha da Madeira.....	33
2.8	Solos representativos da ilha da Madeira .....	36
2.8.1	Tipos de solos.....	36
2.8.2	Solos no concelho do Funchal.....	37
2.9	Ocupação do solo e coberto vegetal .....	38
2.9.1	Introdução .....	38
2.9.2	Ocupação do solo da ilha da Madeira .....	39
2.9.3	Caracterização da ocupação do solo do território das bacias analisadas.....	40
2.10	Síntese da caracterização da ilha da Madeira e bacias de estudo .....	41
2.10.1	Ribeiras do Funchal em estudo .....	41
2.10.2	Perfil longitudinal das ribeiras .....	42
2.11	Localização das estruturas.....	43
2.12	Aluviões e o ordenamento do território.....	45
3.	Caracterização Hidrológica e Hidráulica. Funcionalidades das soluções adotadas .....	47
3.1	Introdução .....	48
3.2	Caraterização hidrológica.....	48
3.2.1	O ciclo hidrológico.....	48
3.2.2	Bacia hidrográfica .....	49
3.2.3	Parâmetros quantitativos das bacias hidrográficas.....	51
3.2.4	Geometria.....	51
3.2.5	Rede de drenagem .....	54
3.2.6	Perfil longitudinal - relevo .....	59
3.2.7	Formas de escoamento .....	62
3.2.8	Precipitação.....	63

3.2.9	Tempo de concentração da bacia .....	64
3.2.10	Tempo de resposta .....	66
3.2.11	Caudal de ponta de cheia .....	67
3.2.12	Resumo dos parâmetros hidrológicos das bacias hidrográficas .....	71
3.3	Condição hidráulica .....	72
4.	Registo e Inventariação. Base de Dados .....	75
4.1	Considerações prévias.....	76
4.2	Critérios seguidos.....	76
4.2.1	Dimensionamento .....	77
4.2.2	Soluções implementadas – discretização .....	80
4.2.3	Ficha modelo .....	81
4.3	Considerações finais .....	86
5.	Apresentação de Resultados e Análise Comparativa. Recomendações e Conclusões Finais .....	87
5.1	Apresentação de resultados e análise comparativa .....	88
5.2	Medidas estruturais e não estruturais complementares .....	92
5.2.1	Medidas não estruturais .....	93
5.2.2	Medidas estruturais (Colombo <i>et al.</i> , 2002).....	93
5.3	Conclusões finais .....	97
5.4	Recomendações e desenvolvimentos futuros.....	100
5.4.1	Recomendações .....	100
5.4.2	Desenvolvimentos futuros .....	101
	Referências Bibliográficas .....	103
	ANEXOS.....	113
	ANEXO I.....	115
	ANEXO II.....	119
	ANEXO III .....	133
	ANEXO IV .....	137



# Índice de figuras

Figura 1.1: Meses da ocorrência das aluviões na ilha da Madeira .....	3
Figura 1.2: Açude fechado, vista de montante .....	5
Figura 1.3: Açude fechado, vista de jusante.....	5
Figura 1.4: Perigo eminente para pessoas ( <a href="http://www.meteopt.com">http://www.meteopt.com</a> ).....	6
Figura 1.5: Bens próprios destruídos ( <a href="http://www.meteopt.com">http://www.meteopt.com</a> ) .....	7
Figura 1.6: Equipamentos e infraestruturas destruídas ( <a href="http://www.meteopt.com">http://www.meteopt.com</a> ) .....	7
Figura 1.7: Infraestrutura destruída ( <a href="http://www.meteopt.com">http://www.meteopt.com</a> ) .....	8
Figura 1.8: Representação esquemática dos açudes construídos nas três ribeiras dos Funchal. ....	8
Figura 1.9: Açude construído na ribeira João Gomes. ....	9
Figura 1.10: Organigrama da metodologia utilizada na realização da dissertação. ....	11
Figura 2.1: Localização geográfica do arquipélago da Madeira .....	16
Figura 2.2: Concelhos da RAM. Em destaque o concelho do Funchal. ( <a href="http://www.madeira.pflanzenweg.de">www.madeira.pflanzenweg.de</a> ) .....	17
Figura 2.3: Freguesias do concelho do Funchal (Carta administrativa oficial de Portugal). ....	18
Figura 2.4: (a) - Geo-estrutura do arquipélago da Madeira. (b) – <i>Zoom</i> para o Arquipélago da Madeira (Adaptado de Geldmacher et al., (2000)).....	19
Figura 2.5: Carta geológica da ilha da Madeira (LNEG, 2009) .....	20
Figura 2.6: Orografia da ilha da Madeira (PRAM, 2002) .....	23
Figura 2.7: Valores médios anuais do vento no Funchal (adaptado de Instituto de Meteorologia) .....	24
Figura 2.8: Temperatura média anual do ar da ilha da Madeira (PRAM, 2002).....	25
Figura 2.9: Temperatura no Funchal (adaptado de Instituto de Meteorologia).....	26
Figura 2.10: Insolação média anual no Funchal (adaptado de Instituto de Meteorologia) .....	26
Figura 2.11: Precipitação média anual da ilha da Madeira (PRAM, 2002) .....	27
Figura 2.12: Precipitação anual total com número de dias com precipitação superior a 1mm (ND1) e número de dias com precipitação superior a 10mm (ND10) (adaptado de Instituto de Meteorologia).....	28
Figura 2.13: Formação das chuvas orográficas (adaptado de <a href="http://madilusion.blogspot.pt/">http://madilusion.blogspot.pt/</a> ) .....	29
Figura 2.14: Esquema do mecanismo de formação das nuvens e nevoeiros orográficos na Madeira (Figueira et al., 2006). ....	29
Figura 2.15: <i>Mar de nuvens</i> – Areeiro (adaptado de <a href="http://filipafernandes.files.wordpress.com">http://filipafernandes.files.wordpress.com</a> ) .....	30
Figura 2.16: Modelo hidrogeológico da ilha da Madeira (Prada et al., 2005) .....	32
Figura 2.17: Zonas de recarga dos aquíferos (adaptado de CLIMAAT II - (Santos e Aguiar, 2006)) .....	33

Figura 2.18: Redes e Bacias Hidrográficas da ilha da Madeira .....	34
Figura 2.19: Capacidade de transporte e erosão ( <a href="http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt/">http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt/</a> ).....	34
Figura 2.20: Configuração da rede hidrográfica primária (PRAM, 2002) .....	35
Figura 2.21: Disposição do solo em socacos ( <a href="https://plus.google.com/111008132778573987515/posts/Pp2gLHnmPCM">https://plus.google.com/111008132778573987515/posts/Pp2gLHnmPCM</a> ).....	36
Figura 2.22: Carta de solos do concelho do Funchal (adaptado de Ricardo et al., 1992).....	38
Figura 2.23: Andares fitoclimáticos (Quintal, 2007).....	39
Figura 2.24: Distribuição da área por classes de ocupação (COS2007, nível1) nas bacias hidrográficas das ribeiras do Funchal (Adaptado de EARAM, 2010).....	40
Figura 2.25: Bacias e respetivas linhas de água principais do Funchal.....	41
Figura 2.26: Locais de implantação das estruturas .....	44
Figura 3.1: Ciclo hidrológico (htt).....	49
Figura 3.2: Vista transversal de uma bacia hidrológica (Villela, 1975) .....	50
Figura 3.3: Bacias hidrográficas da ilha da Madeira .....	50
Figura 3.4: (a) - Esquema da hierarquização segundo Strahler, (b) - Hierarquia da ribeira São João.....	55
Figura 3.5: (a) - Esquema da magnitude segundo Shreve, (b) – Magnitude da ribeira São João.....	56
Figura 3.6: (a) - Altimetria da bacia hidrográfica da ribeira São João, (b) - Inclinação das vertentes da ribeira São João (Adaptado de (Teixeira, 2010)).....	61
Figura 3.7: Perfil longitudinal da ribeira São João (Adaptado de (Teixeira, 2010)) .....	62
Figura 3.8: Isoietas na bacia hidrográfica da ribeira São João (Adaptado de (Teixeira, 2010)) .....	64
Figura 3.9: Representação esquemática do açude assoreado com descarga de caudal líquido na zona central.....	73
Figura 4.1: Exemplos de estruturas leves. (a) - Em troncos de madeira; (b) - Em rede metálica.....	77
Figura 4.2: Exemplos de estruturas pesadas. (a) - Açude com uma abertura; (b) - açude com várias aberturas; (c) - açude com abertura retangular; (d) - açude com grelha de infiltração; (e) - açude em grelha (adaptado de Lien, 2003) .....	77
Figura 4.3: Pormenor da fixação de barras de aço transversais nas ranhuras existentes nos pilares .....	79
Figura 4.4: Ficha técnica modelo, Parte I.....	83
Figura 4.5: Ficha técnica modelo, Parte II.....	84
Figura 4.6: Ficha técnica modelo, Parte III .....	85
Figura 5.1: (a) - Declive médio das bacias. (b) - Tempo de concentração das bacias.....	89
Figura 5.2: Diminuição de descarga de sedimentos, $Q_r$ (adaptado de Lien, 2003).....	90
Figura 5.3: Eficiência dos açudes construídos nas três ribeiras do Funchal.....	91

Figura 5.4: (a) - Barragem de gabiões. (b) - Barragem de pedra cimentada .....	94
Figura 5.5: (a) - Barragem de pedra e madeira. (b) - Barragem parede .....	94
Figura 5.6: (a) - Esporões de betão ou de pedras cimentadas. (b) - Esporões naturais .....	95
Figura 5.7: (a) - Muros em pedra cimentada. (b) - Muro em pedra .....	97



# Índice de quadros

Quadro 2-1: Unidades vulcanoestratigráficas da ilha da Madeira.....	21
Quadro 2-2: Principais características das três bacias hidrográficas alvos de estudo .....	42
Quadro 2-3: Perfis longitudinais das três ribeiras .....	43
Quadro 2-4: Localização dos açudes no leito das três ribeiras.....	44
Quadro 2-5: Enquadramento institucional .....	46
Quadro 3-1: Valores da área e do perímetro da bacia hidrográfica de São João.....	51
Quadro 3-2: Ordem e magnitude da rede de drenagem.....	56
Quadro 3-3: Classes da densidade de drenagem (Gregory et al., 1973).....	57
Quadro 3-4: Densidade de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de São João .....	58
Quadro 3-5: Fatores condicionantes do escoamento (adaptado de (Chow et al., 1988)) .....	63
Quadro 3-6: Tempo de concentração para as três bacias apresentadas .....	66
Quadro 3-7: Valores do coeficiente C da fórmula racional.....	68
Quadro 3-8: Parâmetros, a e b, das curvas IDF de diferentes regiões (adaptado de Matos e Silva, 1986) .....	69
Quadro 3-9: Resumo das características das três bacias estudadas .....	71
Quadro 4-1: Tipo de estruturas de correção torrencial.....	80
Quadro 4-2: Classe de retenção dos açudes .....	80
Quadro 4-3: Equipamentos do “Monitorizaribeiras” .....	81
Quadro 5-1: Caudal de ponta de cheia para as secções de referência .....	89



## Lista de abreviaturas e siglas

*AERAM* - Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha Da Madeira

*AMC* - Condições antecedentes de humidade do solo

*COS* - Carta de Ocupação do Solo

*CVA* - Complexo Vulcânico Antigo

*CVA1* - Unidade de Porto da Cruz

*CVA2* - Unidade dos Lameiros

*CVI* - Complexo Vulcânico Intermédio

*CVII* - Unidade da Encumeada

*CVI2* - Unidade da Penha d'Água

*CVI3* - Unidade do Curral das Freiras

*CVS* - Complexo Vulcânico Superior

*CVS1* - Unidade dos Lombos

*CVS2* - Unidade do Funchal

*DROTA* - Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente

*FT* - Ficha Técnica

*GR* - Governo Regional

*I-D-F* - Curvas de intensidade-duração-frequência

*IST* - Instituto Superior Técnico

*LNEG* - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

*LREC* - Laboratório Regional de Engenharia Civil

*Ma* - Milhões de anos

*MAOTDR* - Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento

*MDT* - Modelo Digital do Terreno

*NDI* - Número de dias com precipitação superior a 1mm

*NDI0* - Número de dias com precipitação superior a 10mm

*PGRH* - Plano de Gestão de Região Hidrográfica

*PNM* - Parque Natural da Madeira

*PRAM* - Plano Regional de Água da Madeira

*PRPA* - Plano Regional da Política de Ambiente

*RAM* - Região Autónoma da Madeira

*RGSPDADAR* - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de

*RH10* - Região Hidrográfica da Madeira

*RJIGT* - Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial

*SRARN* - Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais

*SRES* - Secretaria Regional do Equipamento Social

*UMa* - Universidade da Madeira

*VP* - Vice-presidência

*β1* - complexo de base ou complexo vulcânico antigo

*β2* - complexo principal ou complexos vulcânicos intermédios

*β4* - complexo principal ou complexos vulcânicos intermédios

## Simbologia

$\Delta h$  - diferença entre as cotas extremas da linha de água principal

$a$  - parâmetro das curvas I-D-F

$A$  - secção transversal do escoamento

$A_b$  - área da bacia

$A_i$  - área correspondente à sub-bacia  $i$

$B$  - largura do vale; largura de descarga

$b$  - parâmetro das curvas I-D-F; espaçamento entre aberturas do açude

$b_r$  - largura equivalente do retângulo

$C$  - coeficiente de escoamento ou vazão

$C_a$  - concentração de sedimentos em equilíbrio na parte frontal do *debris flow*

$C_b$  - comprimento da bacia

$CN$  - número do escoamento da bacia

$CN_i$  - número do escoamento para a sub-bacia  $i$

$C_t$  - coeficiente de torrencialidade

$D_d$  - densidade de drenagem

$D_h$  - densidade hídrica

$D_{max}$  - diâmetro máximo dos sedimentos

$h$  - altura do escoamento sobre o alinhamento dos pilares

$H$  - carga hidráulica

$H_{max}$  - altura da bacia

$h_{med}$  - altura média da bacia

$i$  - declive, intensidade média da precipitação

$I_c$  - equidistância entre as curvas de nível

$i_m$  - declive médio da linha de água principal

$I_m$  - intensidade média de precipitação

$i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica

$I_r$  - índice de rugosidade

$I_{relevo}$  - índice de relevo

$K_c$  - coeficiente de compacidade de Gravelius

$K_F$  - fator de forma

$K_I$  - coeficiente de rugosidade da fórmula de Izzard

$K_K$  - coeficiente de rugosidade da fórmula de Kerby

$K_L$  - índice de alongamento

$K_M$  - coeficiente de rugosidade da fórmula de Morgali  
 $K_S$  - coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler  
 $L$  - comprimento do curso de água segundo uma diretriz  
 $L_b$  - comprimento da linha de água principal  
 $L_c$  - comprimento total do desenvolvimento das curvas de nível  
 $L_i$  - comprimento do troço  $i$   
 $L_r$  - comprimento equivalente do retângulo  
 $L_t$  - comprimento total dos cursos de água  
 $N$  - número de cursos de água  
 $n$  - número de troços; ordem da linha de água  
 $P$  - índice de vazão de sedimentos  
 $P_b$  - perímetro da bacia  
 $Q$  - Caudal líquido escoado  
 $Q_{pc}$  - caudal de ponta de cheia  
 $R_h$  - raio hidráulico  
 $S$  - sinuosidade de uma linha de água  
 $S_T$  - índice de retenção de sedimentos  
 $t$  - duração da precipitação  
 $t_c$  - tempo de concentração  
 $t_{c\_Giandotti}$  - tempo de concentração segundo Giandotti  
 $t_{c\_med}$  - tempo de concentração médio  
 $t_{c\_Temez}$  - tempo de concentração segundo Temez  
 $t_{c\_Ven\ Te\ Chow}$  - tempo de concentração segundo Ven Te Chow  
 $t_i$  - tempo de escoamento para o troço  $i$   
 $TN$  - Média da temperatura mínima  
 $TNN$  - Temperatura mínima absoluta  
 $TX$  - Média da temperatura máxima  
 $TXX$  - Temperatura máxima absoluta  
 $V_{sa}$  - volume de sedimentos no fluxo antes da passagem pelo açude  
 $V_{sb}$  - volume de sedimentos no fluxo após passagem pelo açude  
 $\alpha$  - percentagem de áreas impermeáveis da bacia hidrográfica  
 $\theta$  - inclinação do leito  
 $\rho$  - peso volúmico da água  
 $\rho_s$  - peso volúmico dos sedimentos  
 $\omega$  - coeficiente obtido por simplificação da equação de Gauckler-Manning-Strickler

# **1. Introdução**

## **1.1 Primeiras considerações**

Desde a antiguidade o Homem procurou melhores condições de vida. Com o evoluir do conhecimento no tempo, desenvolveram-se novos equipamentos e infraestruturas que, em alguns casos, se revelaram capazes de contribuir para o seu crescimento e expansão. No entanto, algumas destas obras não tiveram um planeamento eficaz e duradouro. Deste modo, a falta de boas políticas de ordenamento do território em épocas de grande expansão urbanística, inviabilizaram a melhor ocupação do solo, em particular, nas proximidades das linhas de água.

Na ilha da Madeira, os acidentes naturais e induzidos pelo homem, têm sido essencialmente, ao longo da história, as cheias repentinas provocadas pelas chuvas do outono e inverno. No verão dão-se os incêndios florestais, não menos importantes, na medida em que, devastam a vegetação sobranceira às margens das ribeiras, o que contribui para a instabilidade destas margens e zonas adjacentes. Em termos geográficos, na Madeira podem encontrar-se áreas onde se cruzam numerosos tipos de riscos levando a que se fale em “bacias de risco” (Rebelo, 2001). Rebelo (2003), refere, por exemplo, a “Bacia de Riscos do Funchal”).

O crescimento urbano, consequência da evolução demográfica e consequente alteração das formas de ocupação do solo, com particular destaque para a impermeabilização dos terrenos, produz efeitos nefastos no ciclo hidrológico natural das bacias hidrográficas. A impermeabilização referida cria uma barreira entre o solo e a atmosfera, tornando muito difícil ou quase impossível a infiltração da água da chuva. Por outro lado, a superfície torna-se menos rugosa, o que diminui de forma significativa a resistência ao escoamento, dando origem a um aumento dos caudais de ponta de cheia e diminui o tempo de concentração, o que provoca situações de elevado risco de ocorrência de cheias rápidas (aluviões).

Desde o início do século XIX até ao final de 2011 registaram-se 39 cheias repentinas dando origem a desmoronamentos e deslizamentos de rochas e lamas. Este é o tipo de catástrofe natural que acontece com mais frequência e com maior capacidade de destruição de bens e que mais mortos provoca na ilha da Madeira.

A ilha da Madeira tem sido fustigada por várias aluviões ao longo da sua história. Estes eventos meteorológicos têm ocorrido com alguma frequência na ilha. A primeira aluvião de que há registo ocorreu a 1 de dezembro de 1601. No *Elucidário Madeirense* pode ler-se: “Já em 1601, Mouquet, que esteve na região, afirma, embora não precise datas, “que as águas que descem

das montanhas algumas vezes destroem pontes e casas em toda a ilha” (Silva e Menezes, 1997). Daqui se conclui que este fenómeno - aluvião - é uma manifestação da natureza que ocorre na ilha desde há muitos anos.

A Madeira está marcada de episódios fatídicos provocados pelas águas revoltas das ribeiras (Quintal, 1999). De todas as catástrofes vividas pelos madeirenses, a maior foi a aluvião de 9 de Outubro de 1803. Através de relatos da época, devem ter morrido devido à força bruta das águas mais de 1000 pessoas, a maioria delas no Funchal. A capital da RAM naquela altura, tinha uma população, que não chegava a 25.000 habitantes. Esta aluvião foi descrita como ”(...) a maior calamidade que tem ferido esta ilha no largo período de cinco séculos (página 110, Elucidário Madeirense, Vol. I)”.

Nos tempos mais recentes, no ano de 2010, a 20 de fevereiro ocorreu nova e muito violenta aluvião que invadiu e destruiu algumas zonas de cidades e localidades por toda a ilha, mas com particular incidência na costa sul. Este acontecimento provocou o arrastamento e rolamento de grandes quantidades de material sólido propulsionado pela água precipitada e que à sua passagem destruiu casas e carros. Esta catástrofe originou mais de 40 vítimas mortais. Dauphiné (2001) refere que catástrofe tem três graus para ser classificado como tal, o grau mais baixo - catástrofe, tem que ter pelo menos 100 mortos. No entanto, e atendendo à proporção deste evento meteorológico, o termo tem enquadramento aqui.

Desde o início do século XIX, o mês de outubro foi o que registou maior número de ocorrência ao ano, (Figura 1.1).

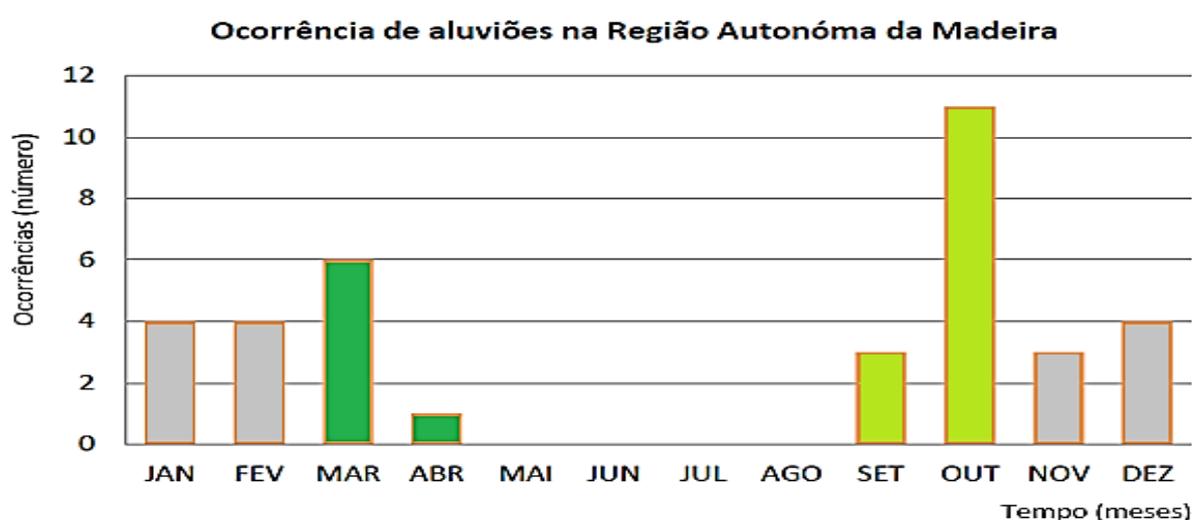


Figura 1.1: Meses da ocorrência das aluviões na ilha da Madeira

Verifica-se também, pela mesma figura, que as aluviões acontecem entre setembro e março, fora deste intervalo, apenas ocorreu uma aluvião em abril no ano de 2008. Nestes meses, a maior probabilidade de ocorrência de aluviões está associada aos movimentos de vertente por instabilidade.

O evento de 20 de fevereiro de 2010 tornou-se extremamente mediático pelas proporções a que chegou. O que despertou o interesse e levou à intervenção pública de especialistas nesta área da engenharia civil. Foram publicados alguns artigos destes técnicos com a descrição do evento catastrófico, dos principais fatores desencadeadores ou causas associadas. Foram, igualmente, apresentadas algumas propostas de mitigação do risco associado (e.g. (Valente, 2010) e (Silva, Almeida e Gomes, 2010)).

A dimensão destrutiva e trágica deste acontecimento levou a que as entidades oficiais solicitassem um estudo das bacias hidrográficas mais afetadas. Trabalho este que foi levado a cabo pelo consórcio constituído por especialistas da Universidade da Madeira (UMa), Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) e Instituto Superior Técnico (IST), cujo resultado final foi o documento “Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha Da Madeira (AERAM)”.

Com base no documento final, o governo regional decidiu intervir nestas ribeiras com o intuito primeiro, de minimizar consequências dramáticas em acontecimentos semelhantes em épocas futuras. Neste sentido, a intervenção passou pela correção e regularização das margens a jusante, em particular nas zonas mais baixas do Funchal até à foz. A montante, proteger a cidade com a construção de quatro açudes abertos de retenção do material sólido em cada uma das três ribeiras, com o objetivo de controlar os escoamentos mistos, em particular a parcela sólida, a montante das zonas canalizadas.

Surgem então estas estruturas de correção torrencial - açudes de retenção do material sólido, que são obras hidráulicas sem expressão na RAM, não obstante existirem açudes fechados na ribeira São João, como se documenta através das Figuras 1.2 e 1.3. Estas obras, que materializam as medidas preconizadas no AERAM, consistem na construção de açudes abertos de retenção do material sólido, com a finalidade de reter parte significativa dos blocos de maior dimensão de modo a proteger pessoas e bens a jusante destas estruturas e em particular as zonas de mais fraco declive.



Figura 1.2: Açude fechado, vista de montante

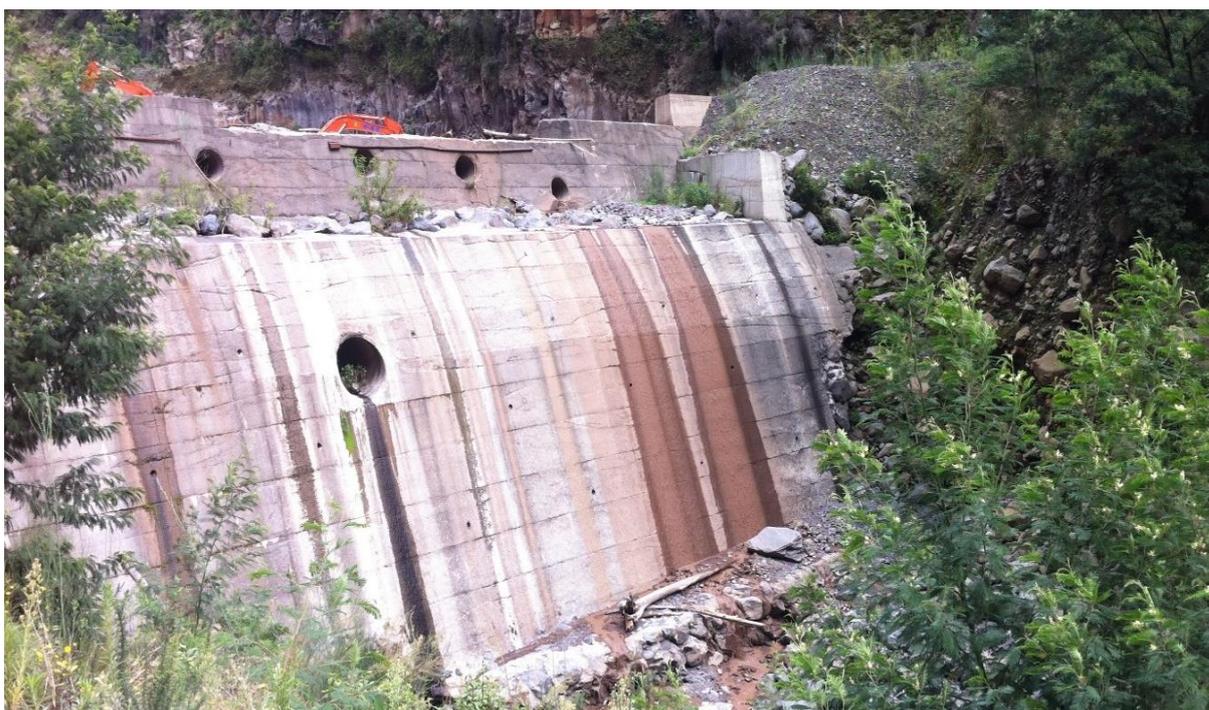


Figura 1.3: Açude fechado, vista de jusante

Assim, a presente dissertação pretende identificar as intervenções neste ramo da engenharia, especificadamente os açudes presentes nas três principais ribeiras do Funchal, nomeadamente, ribeira de João Gomes, ribeira de Santa Luzia e ribeira de São João.

## **1.2 Função dos açudes**

Os açudes são estruturas de proteção, criando um obstáculo à passagem do caudal sólido que é transportado e impulsionado pelas águas da chuva em períodos de precipitação intensa. Podem apresentar diversas configurações em função das características da geomorfologia do local e material a reter temporariamente nas respetivas albufeiras (EARAM, 2010).

Conforme preconiza o documento referenciado no parágrafo anterior, pretende-se que os açudes abertos de retenção do material sólido tenham como principal função, em última análise, a proteção de vidas humanas. Evidentemente, também se pretende que estes equipamentos sejam capazes de garantir a segurança de bens e infraestruturas a jusante dos mesmos, de forma a evitar, ou pelo menos minimizar os efeitos de catástrofes semelhantes à que ocorreu no fatídico dia 20 de fevereiro de 2010, que se ilustra com as Figuras 1.4, 1.5, 1.6 e 1.7.



Figura 1.4: Perigo eminente para pessoas (<http://www.meteopt.com>)



Figura 1.5: Bens próprios destruídos (<http://www.meteopt.com>)



Figura 1.6: Equipamentos e infraestruturas destruídas (<http://www.meteopt.com>)



Figura 1.7: Infraestrutura destruída (<http://www.meteopt.com>)

Como medida mitigadora, de entre algumas soluções existentes para estas estruturas, a solução adotada pelas entidades competentes passou pela construção de açudes “tipo pilar” (Figuras 1.8 e 1.9).

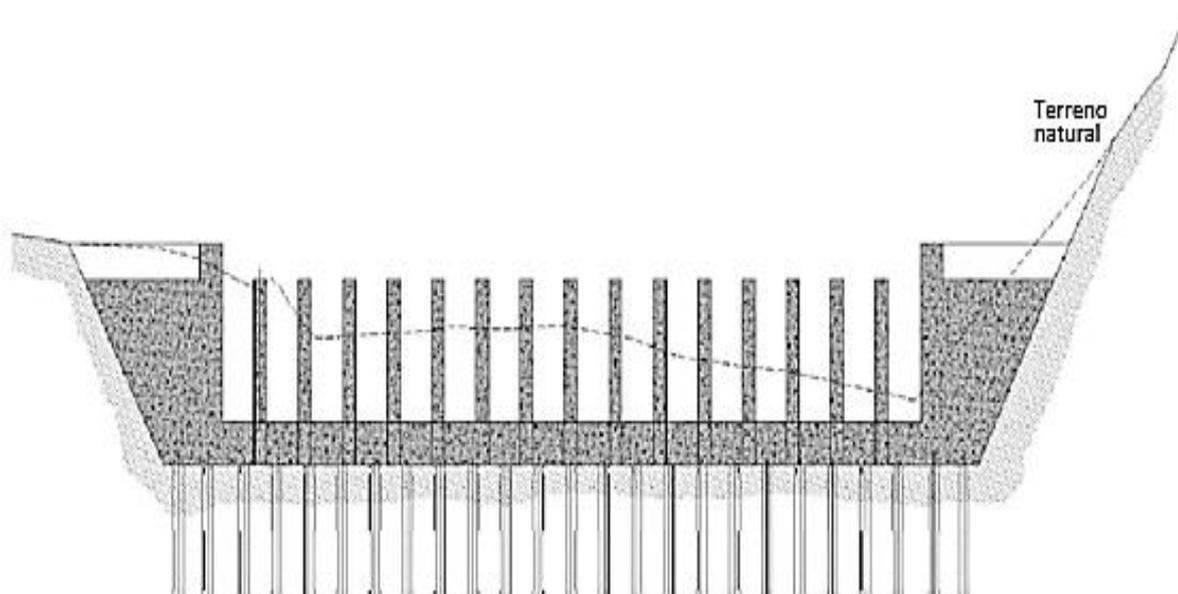


Figura 1.8: Representação esquemática dos açudes construídos nas três ribeiras dos Funchal.

Como se pode observar através da Figura 1.8, na qual se representa esquematicamente um açude construído, cuja estrutura é fundada em grupos de estacas, conforme condição de fundação encontrada no local de implantação. A zona de interface entre a obra e a margem da ribeira deve ser devidamente tratada e estabilizada, de modo a garantir o apoio lateral, que conjuntamente com a fundação formada pelas estacas e respetivo maciço de amarração, vão assegurar o bom funcionamento de toda a estrutura. A partir desta fase, desenvolve-se um conjunto de “pilares”, devidamente espaçados entre si e que vão reter os materiais sólidos e com dimensões consideradas em projeto. Por fim, refira-se que os açudes em serviço no seu conjunto têm um comportamento similar ao de um crivo, com espaçamentos diferentes, começando a diminuir esta distância no sentido do escoamento. A Figura 1.9 mostra uma destas estruturas executadas no terreno.



Figura 1.9: Açude construído na ribeira João Gomes.

Para a construção de um açude desta natureza, importa obter toda a informação e conhecimento sobre o seu funcionamento estrutural em situação de serviço severo, por forma a garantir a segurança desejada, mediante custos economicamente aceitáveis.

### **1.3 Objetivos**

Esta dissertação tem como objetivo a realização de um levantamento dos açudes abertos de retenção do material sólido e posterior elaboração de uma base de dados destes mesmos açudes construídos nas três principais ribeiras do Funchal, nomeadamente a ribeira João Gomes, a ribeira de Santa Luzia e a ribeira de São João.

Pretende-se fazer uma análise comparativa das soluções adotadas nas bacias hidrográficas consideradas por se verificar algumas variantes nestas estruturas.

Após um período de pesquisa, executou-se uma ficha de inventário para cada açude instalado no terreno. Nestas fichas, consta um registo fotográfico do local, os principais aspetos técnicos e outras informações relevantes para o conhecimento da estrutura e que se acham relevantes de apresentar.

Pretende-se que neste documento seja reunida a informação básica sobre as bacias hidrográficas das ribeiras supracitadas com particular enfoque para a informação sobre as obras erguidas após a aluvião de 20 de fevereiro de 2010, designadamente os açudes abertos de retenção do material sólido, que constituem uma sugestão do AERAM como forma de mitigação das consequências destes eventos no futuro.

Além dos objetivos referidos, constituíram ainda objetivos desta dissertação:

- Aprofundamento de conhecimento mais estrito e rigoroso sobre o tema em apreço;
- Compreensão e sistematização das metodologias de dimensionamento hidrológico e hidráulico;
- Possibilidade de interação com as entidades promotoras e intervenientes na planificação e construção das obras em estudo, por forma a permitir a angariação de informação necessária.

### **1.4 Metodologia de desenvolvimento**

A atual dissertação de mestrado foi elaborada de acordo com a metodologia apresentada na Figura 1.10.

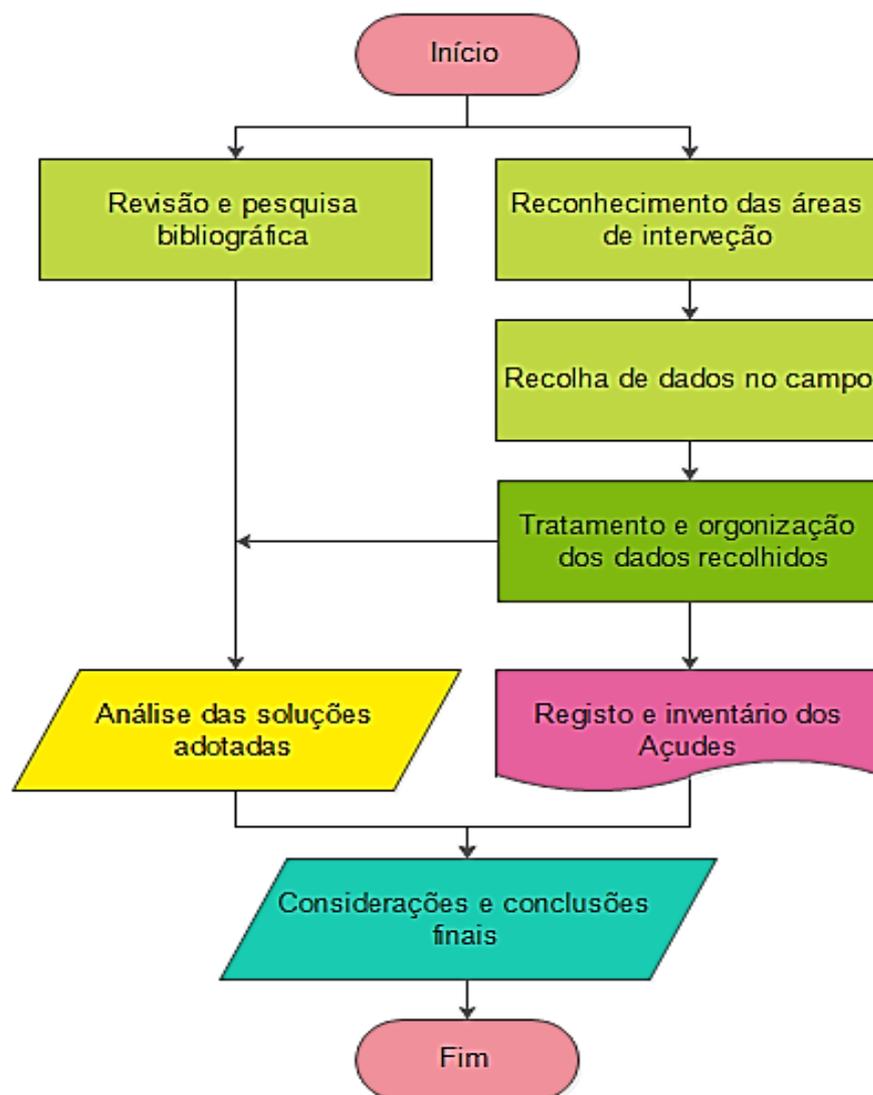


Figura 1.10: Organograma da metodologia utilizada na realização da dissertação.

Esta iniciou-se pela pesquisa e revisão bibliográfica referente ao tema em estudo, seguindo-se uma recolha de dados junto das entidades responsáveis pela gestão e monitorização dos recursos hídricos no Funchal.

Posteriormente, procedeu-se à execução da inventariação e registo, segundo os seguintes pressupostos, nomeadamente, o reconhecimento dos locais em estudo, o registo fotográfico e sua recolha, o tratamento e organização dos dados técnicos relativos ao tipo de solução implementada.

Seguidamente, elaborou-se a análise comparativa das soluções adotadas, com especial incidência na parametrização dimensional da definição da estrutura adotada.

No final, foram apresentadas as considerações e conclusões finais relativas ao trabalho desenvolvido, tendo como perspetiva uma continuidade futura da temática em causa.

## **1.5 Organização e apresentação da dissertação**

A estrutura do presente documento está organizada em **5 capítulos**, cujo conteúdo é apresentado a seguir de forma resumida:

O *Capítulo 1* tem caráter introdutório. No qual se apresenta uma breve introdução ao tema e, seguidamente, são expostos os principais objetivos deste estudo, com incidência sobre a metodologia e estrutura da dissertação.

O *capítulo 2* é constituído por uma caracterização geral da ilha da Madeira. Aqui, são apresentados temas como a localização geográfica da ilha, formação da ilha, geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e hidrogeologia, solos e coberto vegetal. Estes itens vêm no seguimento do tema proposto para este trabalho, para se perceber onde se encontram as bacias hidrográficas em estudo e quais as características da ilha em que estas se situam. As características geológicas, climatéricas e físicas da ilha são aspetos que podem levar a uma extrapolação de como se poderão comportar estas bacias. Além do superiormente descrito, neste capítulo será executada uma caracterização geográfica, onde será devidamente sinalizado todos os locais alvos de estudo, abordados nesta dissertação.

O *Capítulo 3* é dedicado à caracterização do funcionamento, tipologias, manutenção, implantação e funcionalidades das soluções adotadas, nas diferentes ribeiras. Será executada uma abordagem ao dimensionamento hidrológico deste tipo de solução o que implica uma breve caracterização dos fenómenos hidrológicos (fatores fisiográficos) com influência na formação do escoamento superficial, bem como serão abordados os parâmetros de dimensionamento necessários e que permitem a determinação do tempo de concentração, do caudal de ponta e definição de características hidráulicas dos diversos elementos das soluções adotadas. Também será caracterizado o dimensionamento hidráulico das soluções adotadas, abordando-se alguns conceitos gerais necessários à sua correta modelação, apresentam-se alguns dos métodos de dimensionamento frequentemente referidos na bibliografia da especialidade, sendo devidamente desenvolvida e explicada a formulação de cada um desses métodos.

O *Capítulo 4* é centrado na mecanização da base de dados, na sua inventariação e registo, definindo-se os principais critérios para a sua elaboração. Consequentemente será apresentado o mecanismo de registo na ficha de inventariação, sendo devidamente fundamentado o tipo de informação que deverá conter. Além disso como abordagem final deste capítulo, serão retratados os principais entraves sentidos na sua execução.

Por fim, no *Capítulo 5* focaliza-se na apresentação dos resultados, na análise destes, na apresentação de algumas considerações, recomendações, conclusões finais e o que se poderá desenvolver posteriormente a este trabalho. É feita uma análise do funcionamento das soluções adotadas, sendo a mesma apresentada sobre o formato de tabelas síntese e gráficos. São apresentadas um conjunto de considerações, compostas por medidas estruturais e não estruturais complementares, bem como, são propostas algumas recomendações de gestão e prevenção. Apresentam-se as conclusões finais, de uma forma muito breve e sintética, alguns aspetos que ressaltaram do trabalho desenvolvido, bem como sugestões para desenvolvimentos que poderão ser realizados futuramente, no seguimento da presente dissertação.

Em anexo, encontram-se de forma ordenada, documentação que caracteriza a formulação dos diferentes métodos de dimensionamento das soluções adotadas, as fichas de inventariação, criadas para cada solução adotada, assim como, outros documentos produzidos no decorrer da dissertação.



## **2. Caracterização da Ilha da Madeira**

## 2.1 Introdução

Neste capítulo faz-se uma exposição de alguns fatores biofísicos da ilha da Madeira que se entendem pertinentes para o enquadramento do tema em análise. Estes aspetos serão relacionados com outros pontos que serão apresentados seguidamente e, estão relacionados com o estudo das bacias hidrográficas das ribeiras que se pretendem analisar.

## 2.2 Localização geográfica da RAM e concelho do Funchal

### 2.2.1 RAM

O arquipélago da Madeira fica situado no Atlântico Norte, a sudoeste da Península Ibérica, a cerca de 880 km de Portugal Continental (sudoeste da Ponta de Sagres). Localiza-se entre os paralelos  $30^{\circ} 01'N$  e  $33^{\circ} 08'N$ , e os meridianos  $15^{\circ} 51'W$  e  $17^{\circ} 16'W$ , sendo a referência o meridiano de Greenwich (Figura 2.1).

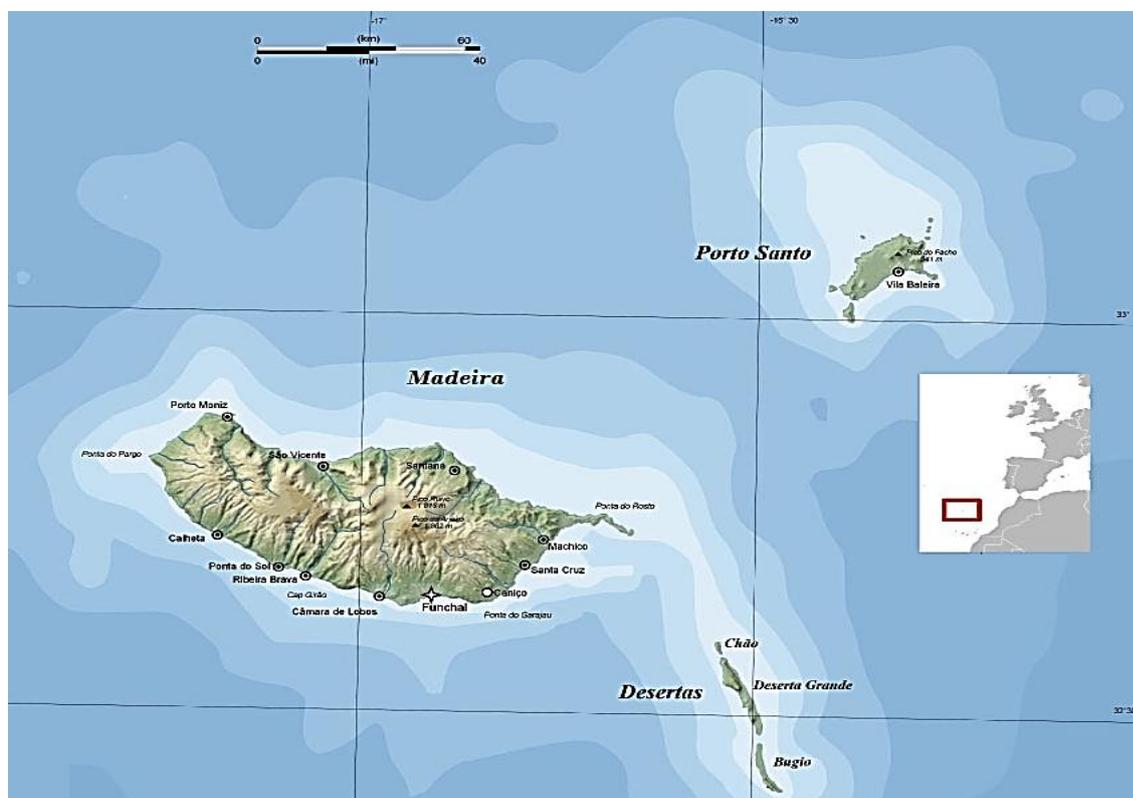


Figura 2.1: Localização geográfica do arquipélago da Madeira (<http://www.islamadeira.es/mapas-de-madeira/>)

A região tem de área total 796.77 km<sup>2</sup>, sendo constituído pelas ilhas da Madeira, maior e principal ilha do arquipélago, com a área de 736.75 km<sup>2</sup>, pela ilha de Porto Santo, com cerca de 42.17 km<sup>2</sup>, pelas ilhas Desertas, composto pela Deserta Grande, Bugio e Ilhéu Chão e cuja área total é de 14.23 km<sup>2</sup>, e pelas Selvagens, constituídas pela Selvagem Grande e Selvagem Pequena com cerca de 3.62 km<sup>2</sup> (Prada *et al.*, 2003), e que constituem reservas naturais.

A ilha da Madeira apresenta uma forma geral alongada, com um comprimento de cerca de 58 km na direção E - W e uma largura de 23 km na direção N - S.

## 2.2.2 Concelho do Funchal

O concelho do Funchal encontra-se na costa sul da ilha da Madeira e confronta a oeste com os concelhos de Câmara de Lobos, a norte com Santana, a nordeste com Machico, a este com Santa Cruz e a sul com o oceano Atlântico.

O nome do concelho tem origem nos primeiros povoadores, que ao desembarcarem neste lugar, que passou a vila e depois a cidade, encontraram abundantemente no vale a “*umbelifera Foeniculum vulgare*” (funcho), então começou a chamar-se Funchal.

A cidade do Funchal é a capital do arquipélago da Madeira e é, também, a sua cidade mais populosa, com cerca de 41.8% (Censos, 2011) da população total da RAM. Na Figura 2.2 estão representados os vários concelhos da RAM, na qual se destaca o Funchal, visto o presente trabalho desenvolver-se nesta área.



Figura 2.2: Concelhos da RAM. Em destaque o concelho do Funchal. ([www.madeira.pflanzenweg.de](http://www.madeira.pflanzenweg.de))

Na Figura 2.3 evidencia-se em representação gráfica, as várias freguesias que compõe o concelho em apreço com a respetiva divisão.

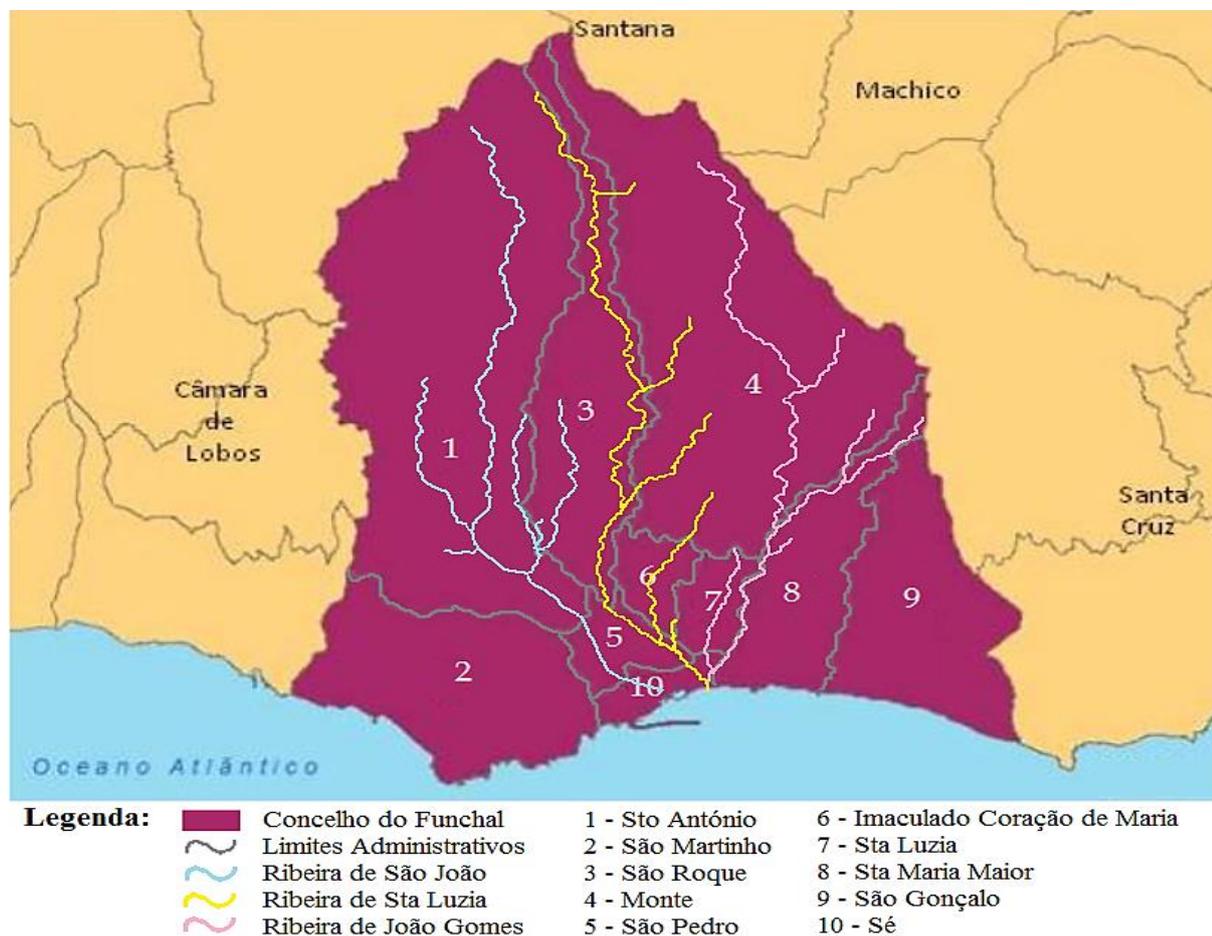


Figura 2.3: Freguesias do concelho do Funchal (Carta administrativa oficial de Portugal).

O perímetro do Funchal é de 84,00 Km e a área total é de 76,15 Km<sup>2</sup>. Esta área é distribuída pelas dez freguesias que compõe o concelho: Santa Maria Maior, São Gonçalo, Sé, São Pedro, Imaculado Coração de Maria, Santa Luzia, Monte, São Roque, São Martinho e Santo António. Relativamente à hidrografia, o concelho é cortado por cinco ribeiras que constituem as principais linhas de água da rede hidrográfica. As cinco ribeiras são:

- Ribeira de São Gonçalo;
- Ribeira João Gomes;
- Ribeira de Santa Luzia;
- Ribeira de São João;
- Ribeira dos Socorridos.

A representação indicativa das ribeiras é mostrada na Figura 2.3 para os cursos de água (e alguns dos seus afluentes) onde foram construídas as estruturas de controlo e correção torrencial, isto é, para as ribeiras de São João, Santa Luzia e João Gomes.

De notar que as ribeiras dos Socorridos e de São Gonçalo não se encontram representadas na figura referida anteriormente porque não são alvos de estudo neste documento por não terem sofrido intervenção ao nível das estruturas aqui abordadas.

### 2.3 Geologia da ilha da Madeira

A ilha da Madeira formou-se no período Miocénico (5 a 24 milhões de anos) mas ainda com alguma atividade vulcânica no Quaternário (há cerca de 6000/7000 anos) (Geldmacher *et al.*, 2000). Ergue-se no interior da placa africana (Figura 2.4a, b), acima de uma enorme planície submarina, numa zona onde a crosta oceânica tem 130 milhões de anos, dando origem a um maciço vulcânico com mais de 5,5 km de altura, onde apenas 1/3 está emerso (Prada *et al.*, 2003).

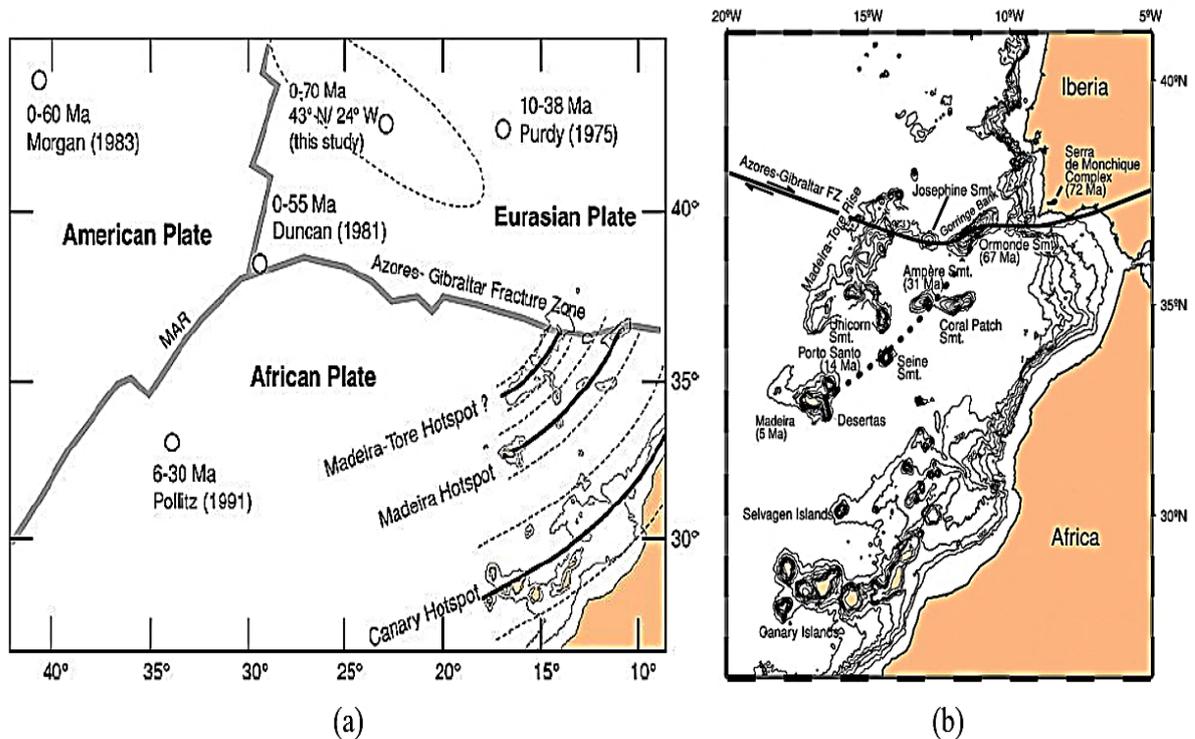


Figura 2.4: (a) - Geo-estrutura do arquipélago da Madeira. (b) – Zoom para o Arquipélago da Madeira (Adaptado de Geldmacher *et al.*, (2000)).

Considerada um “hot-spot”, por ser resultante de magmatismo oceânico intraplaca, a ilha cresceu pela acumulação de materiais vulcânicos, quer explosivos, quer efusivos, que deram origem ao terço emerso há mais de 5,57 Ma, (Ribeiro *et al.*, 2005).

A cartografia geológica de uma região maioritariamente formada por rochas magmáticas, com relevo muito acentuado, com cobertura vegetal abundante e densa, e com extrema monotonia litológica é extremamente difícil como preconizado em (Mata, 1996).

A cartografia geológica da ilha da Madeira iniciou-se com a publicação da carta geológica (1:50000) pelos Serviços Geológicos de Portugal em 1975 (Zbyszewski *et al.*, 1975). Nesta carta há cinco modelos de complexos vulcânicos ( $\beta$ 1-  $\beta$ 5). No ano de 2009 o LNEG (LNEG, 2009) publicou uma nova carta (1:80.000), que mostra uma divisão simplificada em Complexo de Base, Complexos Intermédios e Complexos Superiores (Figura 2.5). Alguns autores, e.g. (Geldmacher *et al.*, 2000), (Mata, 1996) já haviam proposto uma simplificação da geologia vulcânica da ilha.

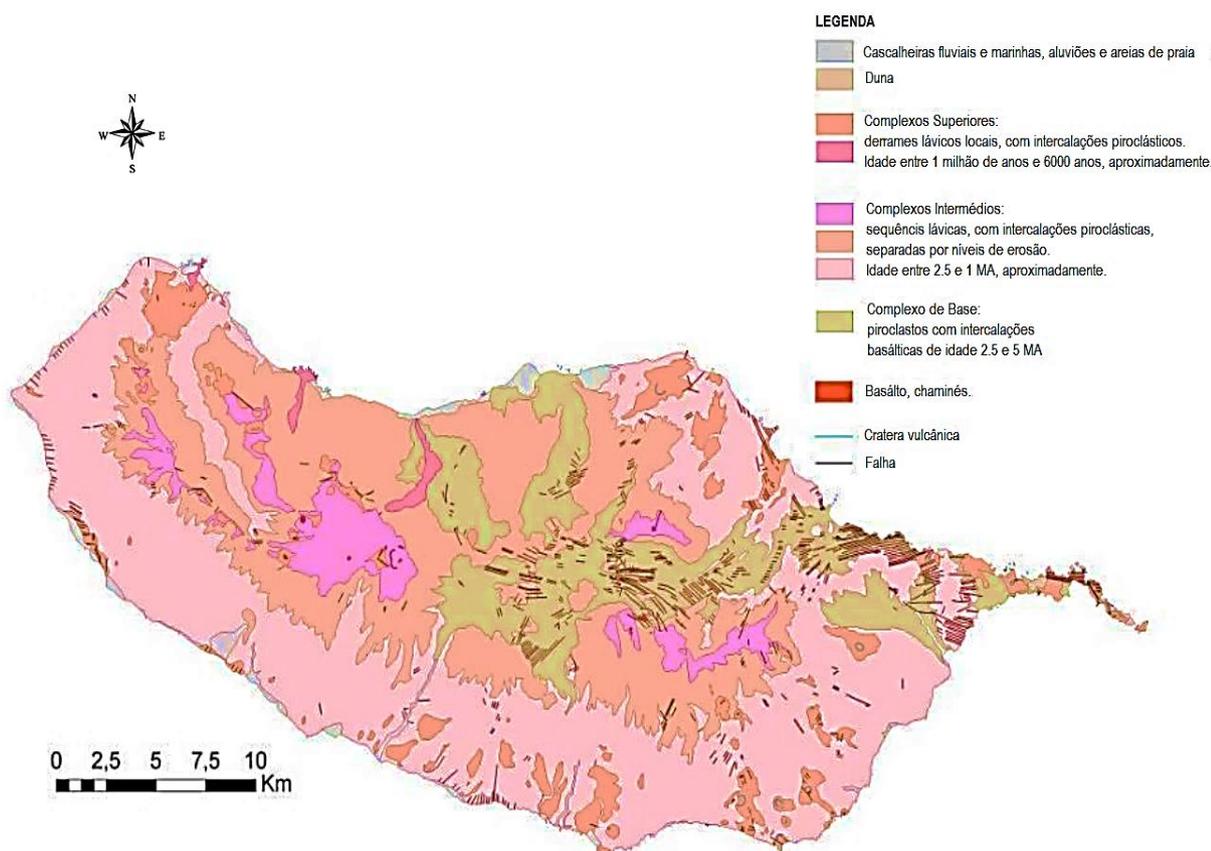


Figura 2.5: Carta geológica da ilha da Madeira (LNEG, 2009)

A estratigrafia da ilha da Madeira é composta por três complexos vulcânicos distintos, que são os seguintes: O Complexo Vulcânico Antigo (CVA), o Complexo Vulcânico Intermédio (CVI) e o Complexo Vulcânico Superior (CVS). Por sua vez, cada complexo é subdividido em várias unidades estratigráficas.

Na parte emersa da ilha existem sete unidades vulcanoestratigráficas, que se enumeram no Quadro 2-1, da mais antiga para a mais recente (Brum da Silveira *et al.*, 2008):

Quadro 2-1: Unidades vulcanoestratigráficas da ilha da Madeira

<p>Complexo Vulcânico Antigo (Miocénico, &gt; 5.57 Ma)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unidade de Porto da Cruz (CVA1);</li> <li>▪ Unidade dos Lameiros (CVA2).</li> </ul>
<p>Complexo Vulcânico Intermédio (Plio-Plistocénico, 5.57 – 1.8 Ma)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unidade da Encumeada (CVI1);</li> <li>▪ Unidade da Penha d'Águia (CVI2);</li> <li>▪ Unidade do Curral das Freiras (CVI3).</li> </ul>
<p>Complexo Vulcânico Superior (Plistocénico e Holocénico, 1.8 – 0.007 Ma)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unidade dos Lombos (CVS1);</li> <li>▪ Unidade do Funchal (CVS2).</li> </ul>

Para além destas unidades, foram identificados depósitos de origem não vulcânica e recentes, como sejam os depósitos de movimentos de massa, leques aluviais, aluviões e terraços fluviais, areias e cascalheiras de praia, areias eólicas, depósitos de vertente, entre outros (Brum da Silveira *et al.*, 2008).

Refira-se que os depósitos aluvionares das ribeiras madeirenses são, em geral, grosseiros, torrenciais e instáveis (Carvalho e Brandão, 1991).

## **2.4 Geomorfologia da ilha da Madeira**

A ilha da Madeira apresenta uma configuração geomorfológica que é consequência da sua estrutura, forma e idade do edifício vulcânico que lhe deu origem. A litologia e os agentes erosivos externos são fatores a considerar e importantes na descrição da sua geomorfologia. Relativamente aos principais agentes erosivos ativos destacam-se o clima e a precipitação. Estes têm influência significativa no desenvolvimento da rede hidrográfica, e na ação das ondas nas zonas costeiras (Carvalho e Brandão, 1991).

### **2.4.1 Forma**

A ilha da Madeira apresenta uma forma geral alongada a tender para uma configuração retangular. Tem um comprimento de cerca de 58 km entre a Ponta do Pargo e a Ponta de São Lourenço – extremos na direção Oeste-Este e uma largura de cerca de 23 km, entre o Arco de São Jorge e a Ponta da Cruz a Oeste do Funchal - na direção Norte-Sul (Ribeiro, 1949).

### **2.4.2 Orografia e relevo da ilha da Madeira**

Com cerca de 736 km<sup>2</sup> de área, a ilha da Madeira tem um relevo muito irregular e acentuado, com formas vigorosas, com vales encaixados e profundos e gargantas estreitas. Possui declives e encostas grandiosas e pronunciadas, assim como numerosos precipícios e arribas muito altas, resultantes da intensa erosão causada sobretudo pela precipitação e outros agentes erosivos como o vento e a prolongada exposição solar. Este relevo potencia a existência de muitos microclimas, desde a cota mais baixa até ao ponto mais alto – Pico Ruivo.

O Pico Ruivo com 1862 m de altitude máxima e sendo o lugar mais alto da ilha da Madeira, verifica-se que o relevo é muito acentuado e com cerca de 1/4 da sua superfície acima dos 1000 m de altitude. Estima-se que 65% da superfície da ilha tem declives iguais ou superiores a 25%, sendo que as áreas planas são muito escassas, (Prada et al., 2003) (Figura 2.6).

A zona plana de maior expressão na ilha situa-se no Paul da Serra com cerca de 24 km<sup>2</sup> e com uma altitude média de 1500 metros, sendo esta conhecida como o planalto do Paul.

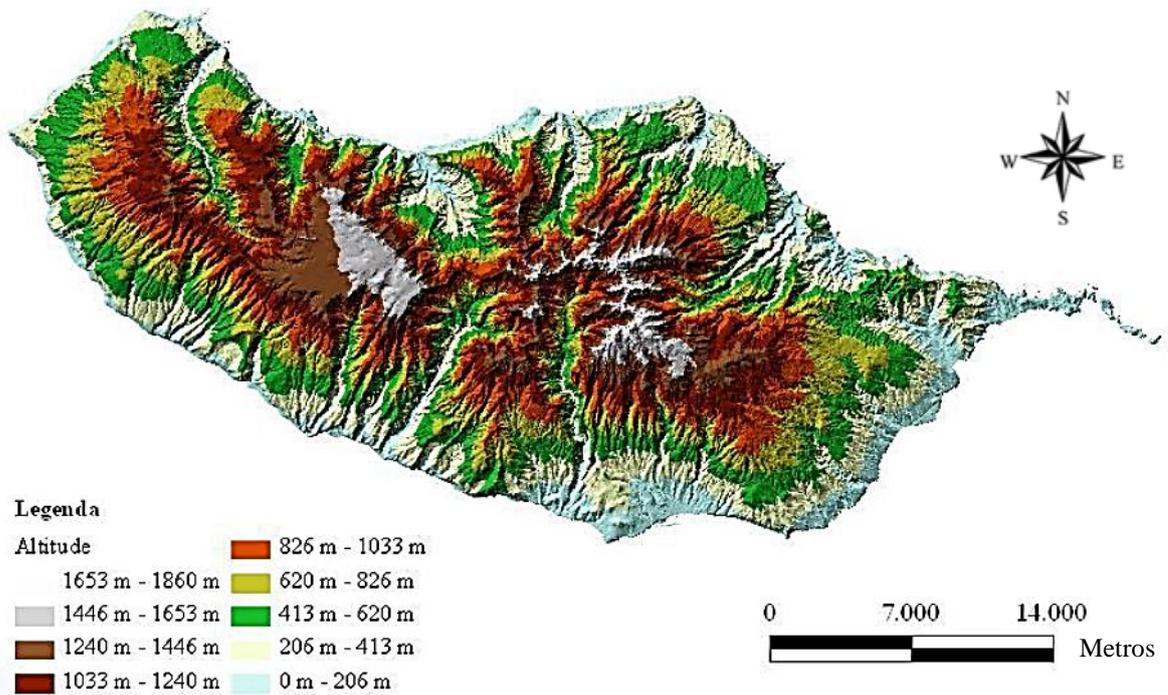


Figura 2.6: Orografia da ilha da Madeira (PRAM, 2002)

A altitude média da ilha é de 646 m, sendo que existe apenas 8 % da área abaixo dos 100 m de altitude. O declive médio da ilha é de 56 %, o que indica que o seu relevo é muito acentuado (PRAM, 2003).

Por todo o exposto, admite-se que, a orografia da ilha é montanhosa e muito rigorosa.

## 2.5 Caracterização climatológica da ilha da Madeira

O clima da Madeira é fortemente condicionado pela intensidade e localização do anticiclone subtropical dos Açores que, nesta região do Atlântico, são transportadas massas de ar tropical marítimo subsidente, em especial na zona oriental onde os fenómenos de subsidência são frequentes e intensos, onde ocorrem os ventos de Nordeste (Alísios - NE) na baixa troposfera, predominando durante todo o ano (Figueira *et al.*, 2006) e (Ferreira, 1955). Deste modo, o clima é fortemente influenciado pela sua localização geográfica e pelo seu relevo bem vincado, dando origem a uma variabilidade na distribuição dos valores de precipitação e de temperatura.

De modo geral, o clima da ilha da Madeira é fortemente influenciado por fatores dinâmicos da circulação atmosférica, por fatores geográficos gerais, como a latitude, a situação oceânica, os centros anticiclónicos continentais do noroeste de África e da Europa Ocidental, o anticiclone dos Açores, e também os sistemas frontais associados aos centros de baixas pressões (Fernandes, 2009).

Explanam-se, de seguida alguns elementos climatológicos que se julgam pertinentes para a análise deste item.

### 2.5.1 Vento

Os ventos predominantes são em média do rumo N e NE, com frequência que não ultrapassa 40% (PRAM, 2003), origina temperaturas e quantidades de precipitação à mesma cota, por o relevo ter uma orientação perpendicular à direção predominante do vento. Já nas encostas sem exposição direta aos dominantes, os ventos podem ser bastante diferentes.

A velocidade do vento pode corresponder a um vento moderado calmo de 11% de frequência, e com alguma frequência pode atingir 16% e 17% de NE e os 17% ou 18% de SO (Figura 2.7).

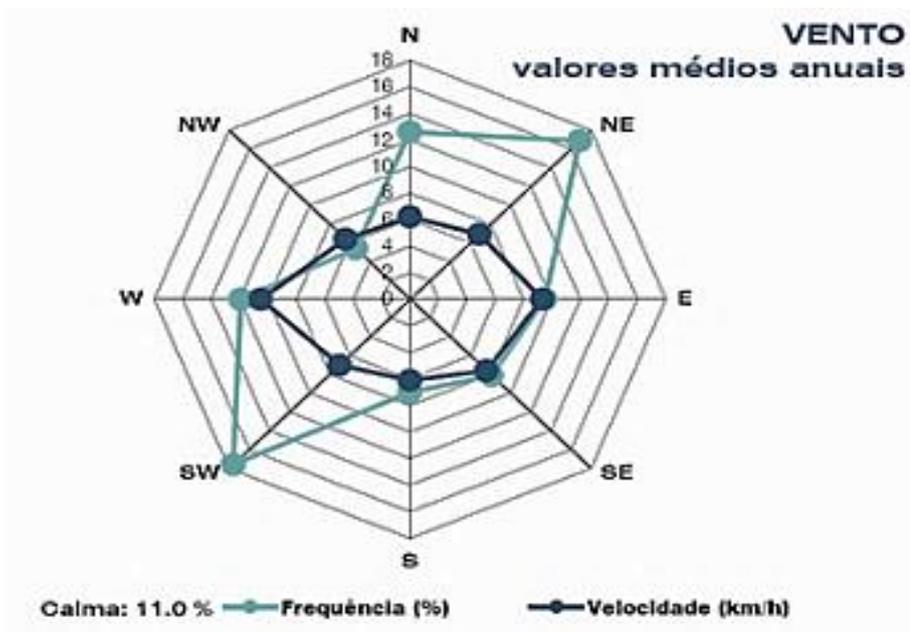


Figura 2.7: Valores médios anuais do vento no Funchal (adaptado de Instituto de Meteorologia)

Fatores a considerar também no clima desta região, são os anticiclones continentais do noroeste de África e da Europa Ocidental e os centros de baixa pressão de origem térmica que se formam desde meados da Primavera até ao Inverno.

### 2.5.2 Temperatura

A temperatura média anual do ar varia entre 19,3 °C no Lugar de Baixo (vertente Sul da ilha) e 9,0 °C nas regiões altas do interior da ilha. Podem ocorrer temperaturas negativas e queda de neve nas áreas mais elevadas da ilha - Paul da Serra e Areeiro, embora sejam fenómenos pouco frequentes e com duração de cerca de 10 a 13 dias em média, anualmente. Na Figura 2.8, retirada do (PRAM, 2002), poderemos visualizar a temperatura média anual do ar da ilha da Madeira.

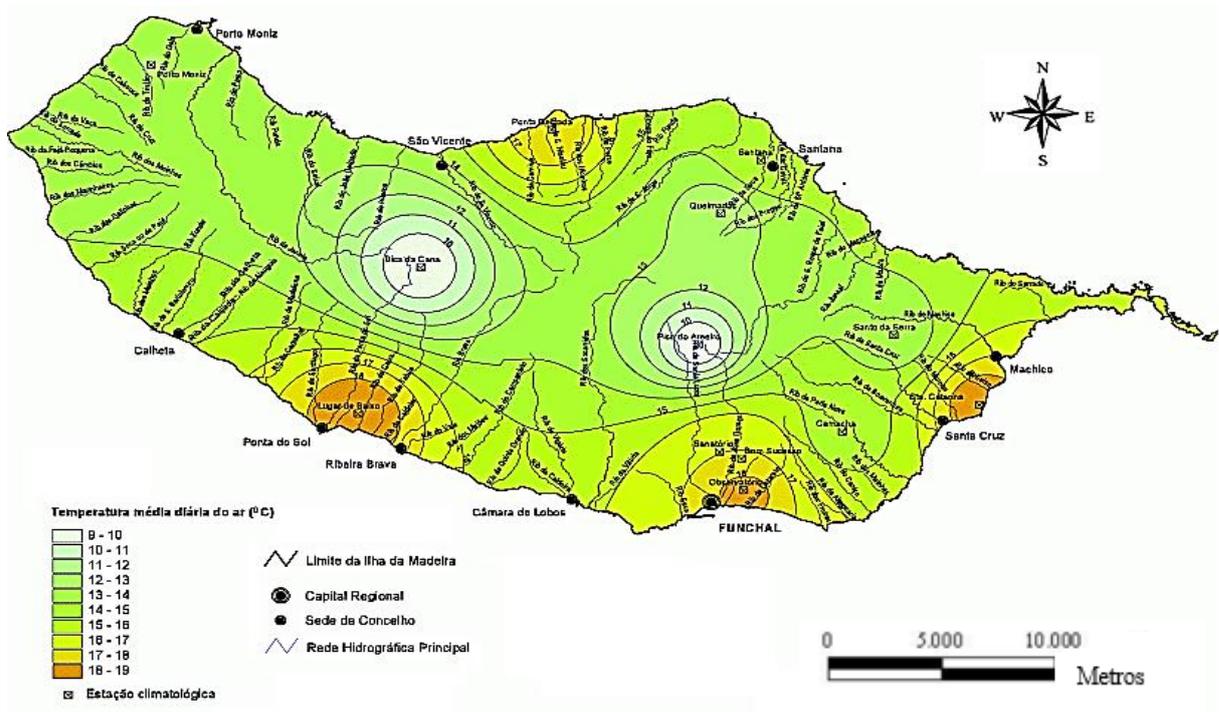


Figura 2.8: Temperatura média anual do ar da ilha da Madeira (PRAM, 2002)

O PRAM, (2003) classifica o clima da ilha da Madeira quanto à temperatura do ar da seguinte forma:

“Frio nas áreas elevadas e *temperado* (temperatura média anual do ar entre cerca de 13 °C e 19 °C) e *oceânico* (amplitude média da variação anual da temperatura do ar inferior a 10 °C)”

Relativamente ao Funchal, apresenta-se a seguir, graficamente (Figura 2.9), os valores da média da temperatura máxima (TX), média da temperatura mínima (TN), temperatura máxima absoluta (TXX) e a temperatura mínima absoluta (TNN). Temperaturas em Graus Celsius.

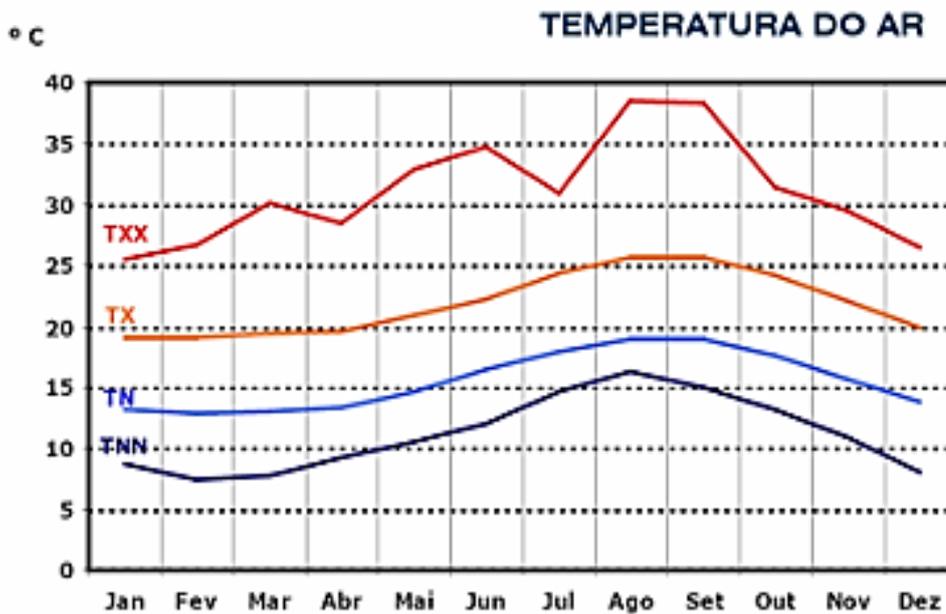


Figura 2.9: Temperatura no Funchal (adaptado de Instituto de Meteorologia)

No que concerne à insolação máxima verifica-se que esta acontece no Funchal, com uma média anual de 2.294 horas de exposição solar (Figura 2.10).

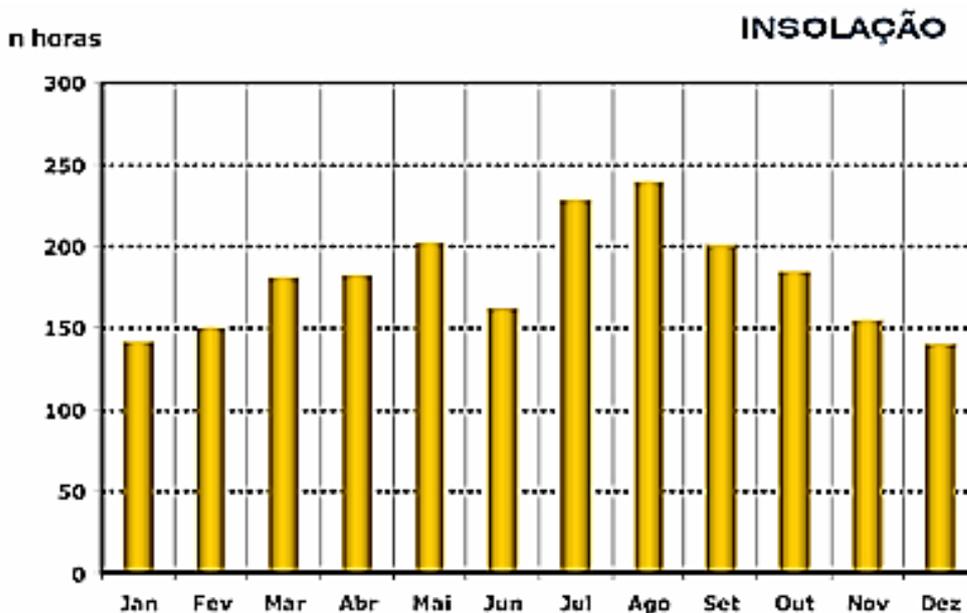


Figura 2.10: Insolação média anual no Funchal (adaptado de Instituto de Meteorologia)

### 2.5.3 Precipitação

Pelos dados das normais climatológicas de 1961 - 1990 (Maciel, 2005), pode verificar-se que, no que concerne aos indicadores de temperatura e precipitação, existe uma oposição vincada entre os valores das vertentes Norte e Sul da ilha e entre os valores altimétricos distintos.

A precipitação na ilha da Madeira tem uma grande variabilidade entre a costa sul e a norte. Verifica maior predominância deste acontecimento meteorológico na vertente norte e em altitude, conforme se pode observar a partir da Figura 2.11, retirada do (PRAM, 2002).

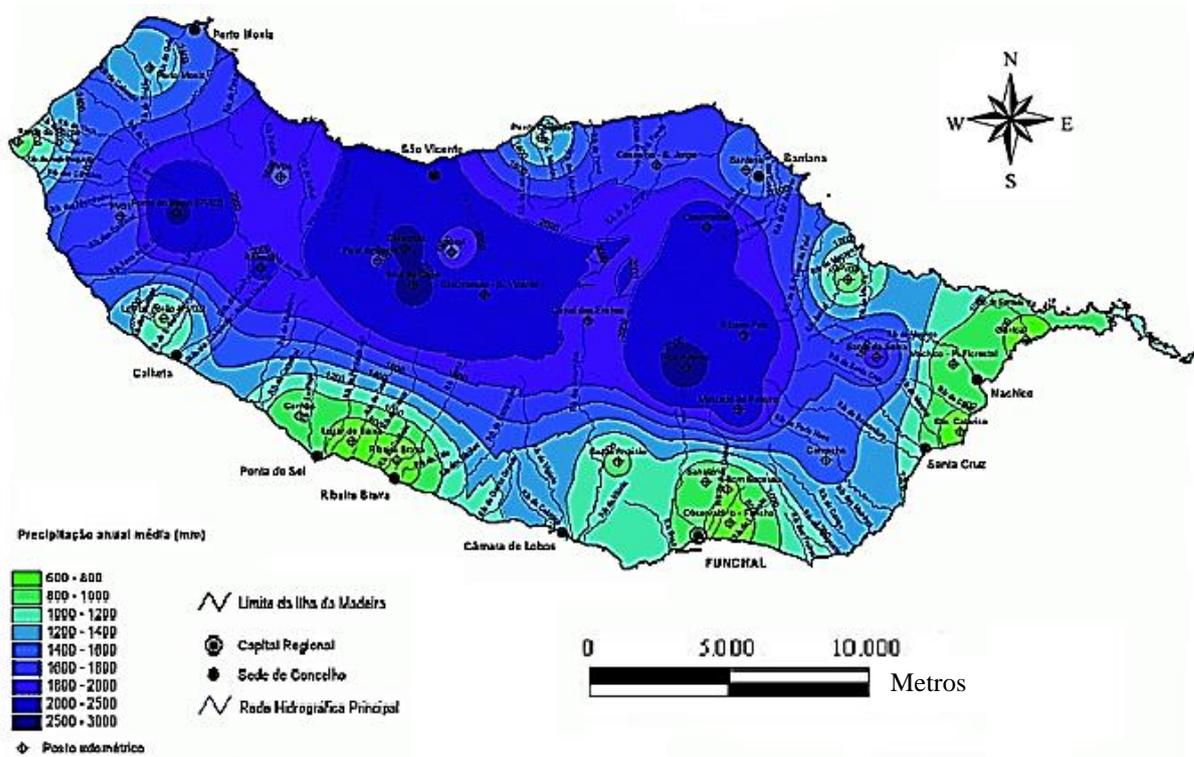


Figura 2.11: Precipitação média anual da ilha da Madeira (PRAM, 2002)

Os meses de outono e inverno são os que apresentam maiores volumes de precipitação (Figura 2.12). Em janeiro, a cotas mais elevadas, a precipitação anda próximo dos 500 mm e na vertente sul, em zonas não muito elevadas, ronda os 100 mm. Na costa norte, no Porto Moniz e em Ponta Delgada, esses valores são da ordem de 200 mm em janeiro. Os valores médios anuais da precipitação variam entre 513 mm/ano na zona do Funchal, valor mínimo e um máximo de

2.966,5 mm/ano aos 1.560 metros de altitude, na Bica da Cana, sendo que a precipitação anual média ponderada na ilha da Madeira é de 1 628 mm (PRAM, 2002).

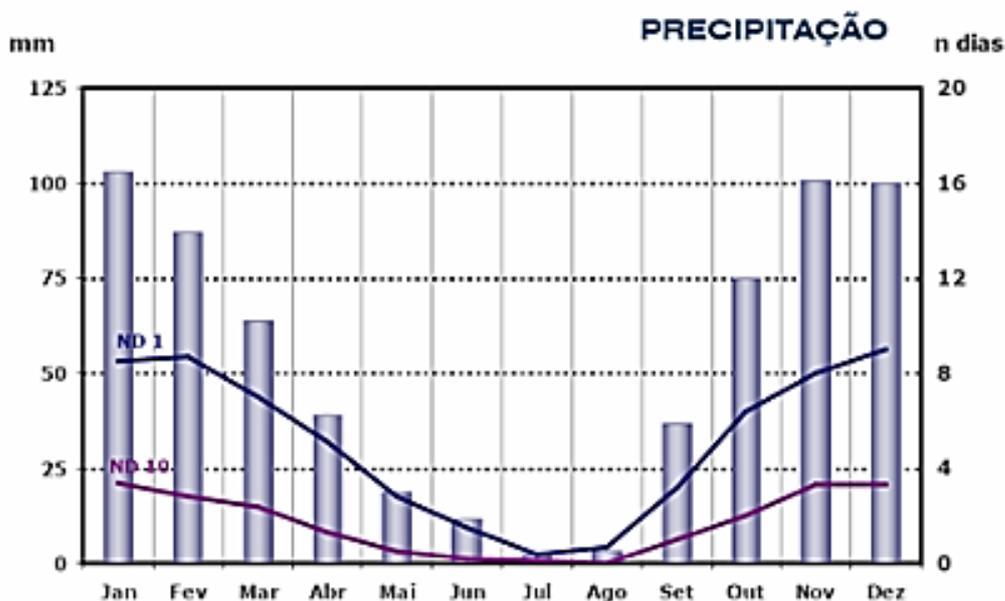


Figura 2.12: Precipitação anual total com número de dias com precipitação superior a 1mm (ND1) e número de dias com precipitação superior a 10mm (ND10) (adaptado de Instituto de Meteorologia)

O PRAM (2003) classifica o clima da ilha da Madeira quanto à precipitação da seguinte forma:

“*Moderadamente chuvoso* (precipitação anual média entre 500 mm e 1 000 mm) na maior parte da área da vertente Sul próxima do mar e *excessivamente chuvoso* (precipitação superior a 1000 mm) nas áreas mais elevadas”.

## 2.5.4 Humidade

A humidade raramente excede 75% nos meses mais frios, no entanto, no Porto Moniz e no Areeiro a humidade média anual pode atingir 85% às 9 horas. É nesta hora, que se considera o valor representativo da humidade média diária. Prada *et al.*, (2003) atribui à humidade relativa do ar o valor médio que se situa entre os 75% e 90% e classificando como húmido em toda a ilha, com exceção do Funchal e Lugar de Baixo, onde o valor médio se situa entre os 55% e 75%.

### 2.5.5 Precipitação oculta - nevoeiros

Como referido anteriormente, o clima da Madeira resulta da influência de vários fatores, uns de caráter geral, como seja a latitude, a situação oceânica e o anticiclone dos Açores. E outros de caráter local - altitude, a exposição das vertentes à radiação solar e a influência dos ventos alísios. Estes ventos frescos e húmidos levam à formação de nevoeiros permanente a altitude variável, observando-se a cerca de 500 m no Inverno, e pouco mais acima durante o Verão. Estas nuvens, de natureza orográfica, formam-se pela subida de massas de ar carregadas de humidade nas encostas viradas a Norte. Estas massas de ar ao encontrarem as vertentes íngremes são “obrigadas” a subir. Na subida, o vapor de água condensa, dando origem a precipitação (Figura 2.14 e Figura 2.14).

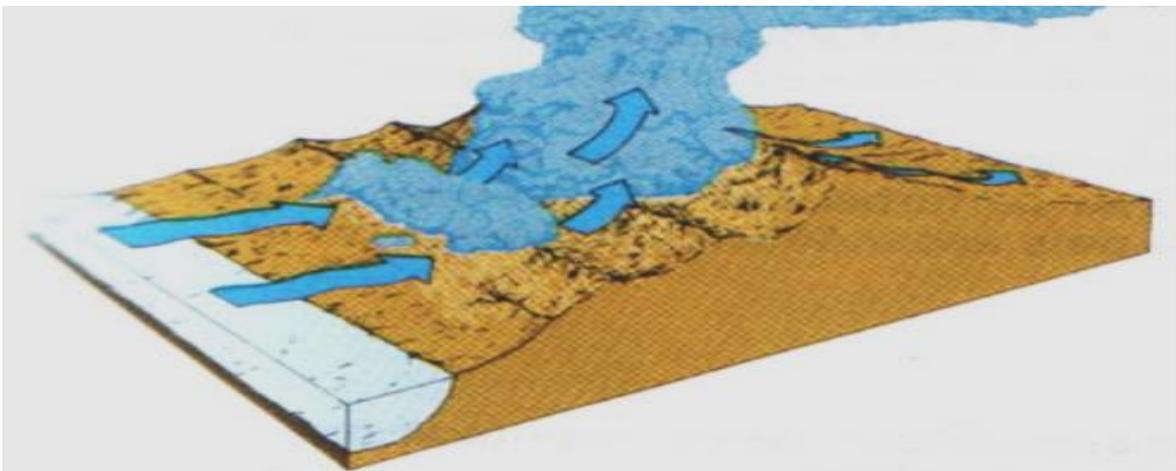


Figura 2.13: Formação das chuvas orográficas (adaptado de <http://madilusion.blogspot.pt/>)

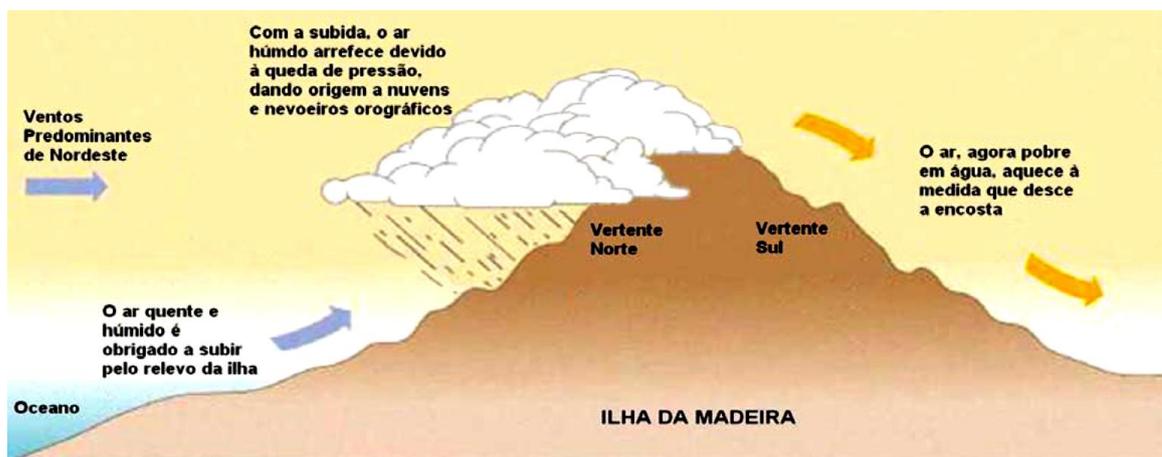


Figura 2.14: Esquema do mecanismo de formação das nuvens e nevoeiros orográficos na Madeira (Figueira *et al.*, 2006).

Ainda em relação à variação em altitude, (Prada *et al.*, 2003) refere que as massas de ar húmido podem condensar a altitudes relativamente baixas, a partir dos 400 m até 1600 m, fixando-se a cobertura nebulosa entre os 600-800 m e os 1600 m, no Inverno, descendo mais abaixo, no Verão.

Consta em Prada *et al.*, (2003) que os nevoeiros são quase exclusivamente orográficos, formando-se a barlavento da elevação, com tendência para se dissiparem a sotavento, sendo a variação anual da frequência pouco nítida, atingindo, por vezes, em Bica da Cana 235 dias/ano, e no Areeiro 229 dias/ano. O mesmo documento refere que, a nebulosidade é mais alta na Madeira do que sobre o mar na região em que está situada, devido à formação de nuvens e nevoeiros orográficos.

Segundo FRISCH *et al.*, (1994), o conteúdo em água varia entre os 0,25 g/m<sup>3</sup> no centro da nuvem e os 0,01 g/m<sup>3</sup> na base e os 0,1 g/m<sup>3</sup> no topo. É no interior deste *mar de nuvens* e na presença simultânea de vegetação que ocorre o fenómeno da precipitação oculta (Figura 2.15)



Figura 2.15: *Mar de nuvens* - Areeiro (adaptado de <http://filipafernandes.files.wordpress.com>)

## 2.6 Hidrogeologia

A circulação subterrânea das águas, em geral é feita através da rede de fraturas tectónicas, que podem ser aferidas através de algumas galerias existentes na ilha. Assim, a localização destes acidentes tectónicos (FONSECA *et al.*, 2000) revela-se de extrema importância para o conhecimento dessa circulação.

Em Prada *et al.*, (2005) encontra-se um modelo hidrogeológico da ilha da Madeira (Figura 2.16) o qual é constituído por:

1. *Aquíferos suspensos;*
2. *Aquífero vulcânico generalizado;*
3. *Aquíferos compartimentados.*

Os *aquíferos suspensos* podem ser subdivididos em superficiais e profundos. Os primeiros estão situados a cotas maiores e são muito suscetíveis às variações climáticas podendo esgotar-se em épocas do ano sem recarga, enquanto, que os segundos situam-se a cotas mais baixas, embora ainda em altitude e com pouca sensibilidade às variações do clima.

O *aquífero vulcânico generalizado* ou Aquífero de base existe a partir de uma certa profundidade. A constituição do núcleo da ilha influencia as características deste aquífero. Assim, o aquífero tem características diferenciadas em função das formações que o constituem. O Complexo de base ( $\beta 1$  ou Complexo Vulcânico Antigo) tem transmissividades mais baixas, enquanto que os Complexos Vulcânicos Intermédios ( $\beta 2$  a  $\beta 4$  ou Complexo Principal)) são caracterizados por ter forte transmissibilidade.

Os *aquíferos compartimentados* estão relacionados com filões subverticais. Quando se situam abaixo do nível de saturação, estes compartimentos podem originar compartimentos ou células secas e que estão localizados em zonas que dificilmente irão receber recarga.

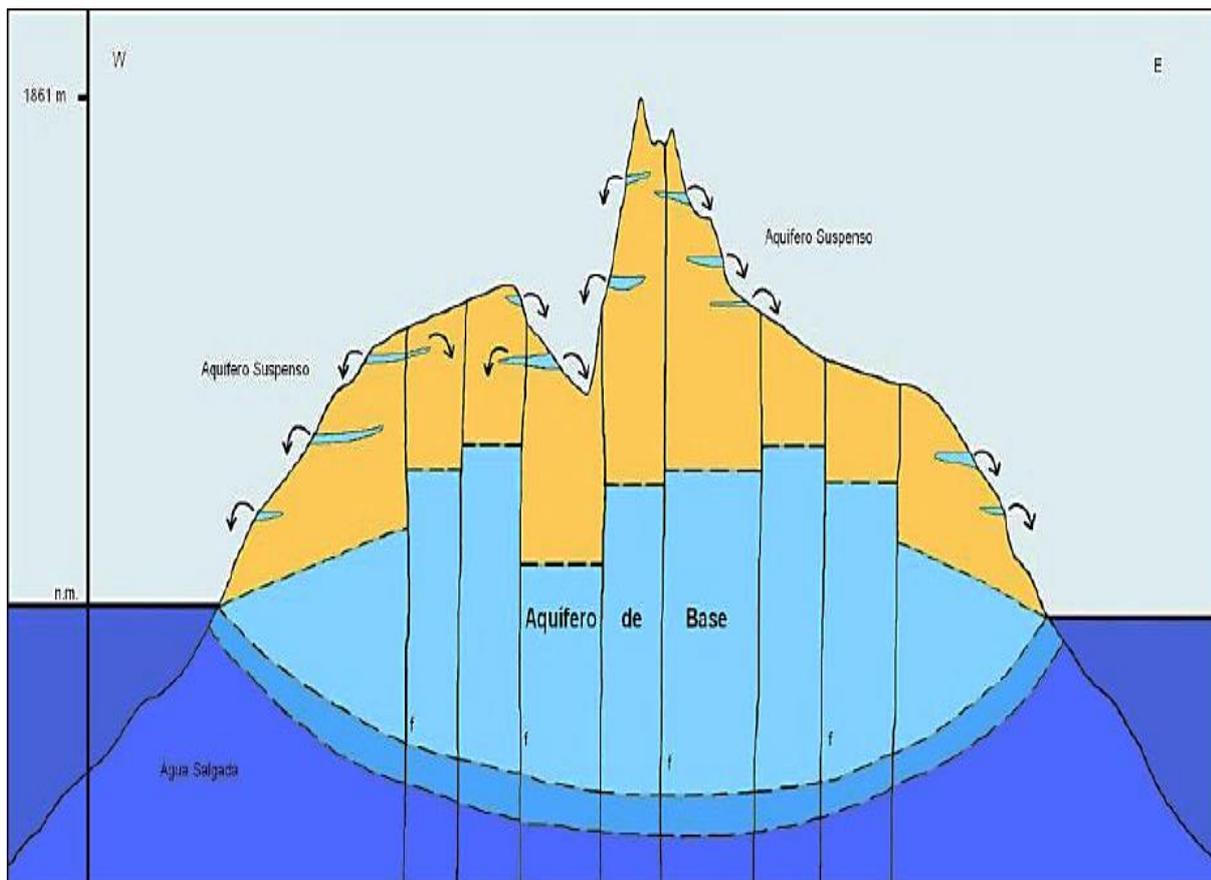


Figura 2.16: Modelo hidrogeológico da ilha da Madeira (Prada *et al.*, 2005)

As recargas dos aquíferos dão-se a partir das zonas de cotas mais elevadas da ilha, onde o relevo é mais suave e com a existência de uma camada de natureza basáltica porosa e fissurada, o que favorece a infiltração e circulação subterrânea, a precipitação é maior e há um contributo significativo da Laurissilva (precipitação oculta). O fluxo é descendente e dá origem a aquíferos suspensos, por haver estratos horizontais muito pouco permeáveis, ou mesmo impermeáveis, que se situam a diversos níveis entre os 1000 e os 1600 metros. Estes aquíferos, em particular os que se encontram mais à superfície e que não têm escoamento contínuo, podem contribuir ativamente como fator despoletador de movimentos de massa (Prada *et al.*, 2005). Na Figura 2.17 encontram-se representadas as zonas de recarga.

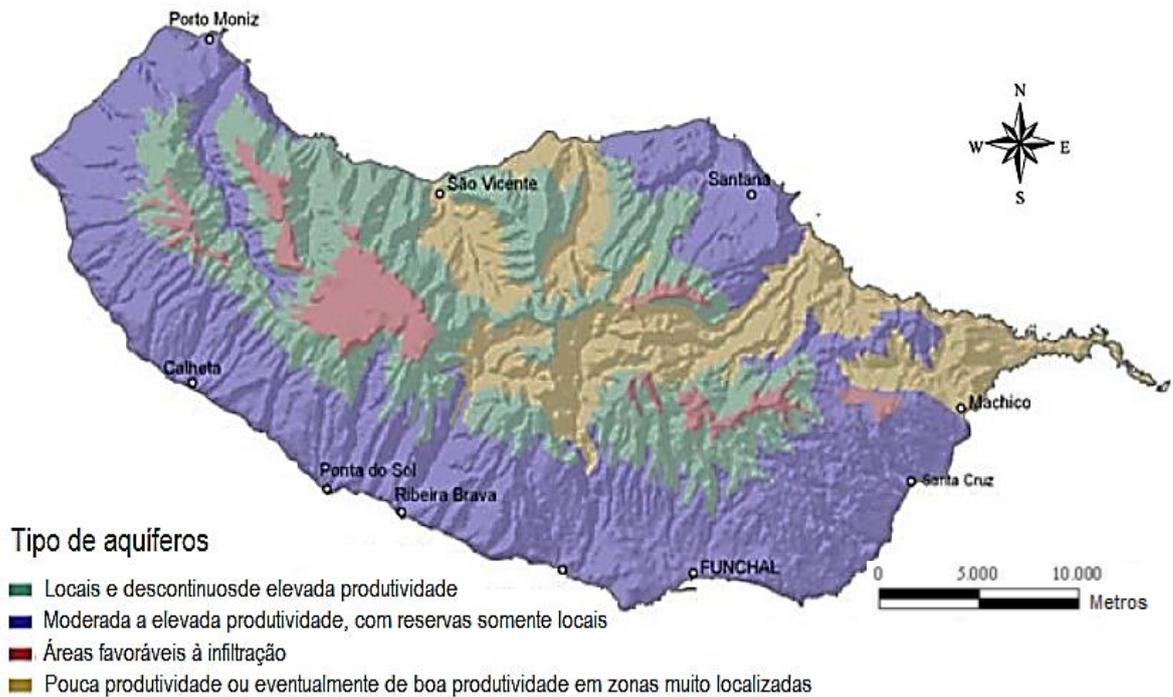


Figura 2.17: Zonas de recarga dos aquíferos (adaptado de CLIMAAT II - (Santos e Aguiar, 2006))

## 2.7 Caracterização hidrográfica da ilha da Madeira

Ramos, C. (1993) define bacia hidrográfica como sendo “uma porção do território continental drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, os quais transportam, além da água, sedimentos, materiais dissolvidos até a um ponto comum: a desembocadura ou secção de referência da bacia”.

A rede hidrográfica da ilha da Madeira compreende 20 bacias hidrográficas (PGRH10, 2013) e várias sub-bacias e é uma rede muito densa, como se constata a partir da configuração apresentada na Figura 2.18. É constituída por muitas linhas de água que divergem dos picos centrais e mais altos da ilha. Estas têm comprimentos pequenos e apresentam, na sua maioria uma forma radial e em alguns casos, zonas sinuosas.

A rede hidrográfica apresenta indícios de uma grande juventude, como se pode observar a partir dos perfis longitudinais que apresentam declives acentuados, mesmo nas ribeiras mais evoluídas (Ribeiro, 1945), (Ribeiro, 1948) e (Mata, 1996).

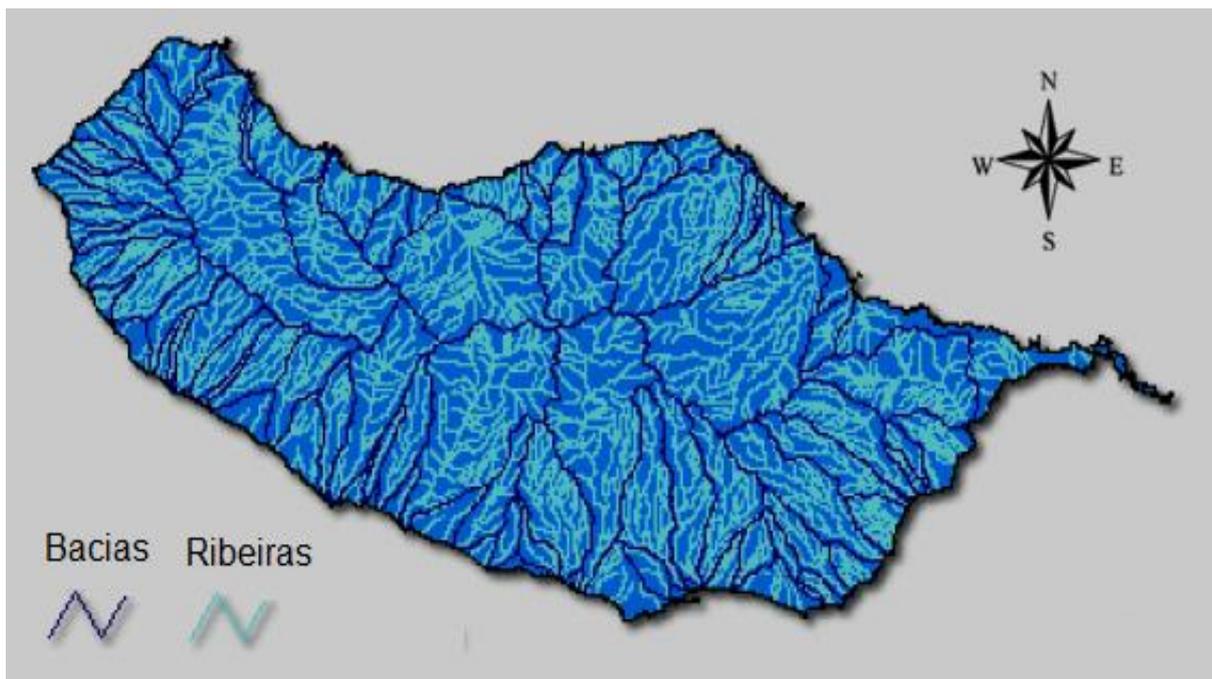


Figura 2.18: Redes e Bacias Hidrográficas da ilha da Madeira

A rede tem uma enorme capacidade de transporte (caudal líquido e sólido) e de erosão ( (Figura 2.19) - aluvião de fevereiro de 2010), consequência do acentuado declive das várias linhas de água, que são caracterizadas em geral, por regime não permanente e torrencial.



Figura 2.19: Capacidade de transporte e erosão (<http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt/>).

Em Mata, (1996) pode ler-se, “Os perfis transversais e longitudinais de tais vales são bastante variáveis, tendo Mitchell-Thomé (1979 e 1985) demonstrado a sua estreita dependência em relação às características mecânicas das formações entalhadas”. Efetivamente, os perfis longitudinais da grande maioria dos cursos de água apresentam desníveis superiores a 1200 m, com o caso particular da Ribeira de Santa Luzia a roçar os 1700 m (PRAM, 2002). Os leitos apresentam margens em forma de “V” e muito instáveis para além de muito declivosos transversalmente. Os materiais que compõem o leito são, em geral, compostos por sedimentos rochosos de granulometria restrita, onde os finos são raramente observados. Em geral, as bacias hidrográficas da ilha da Madeira são, estreitas, alongadas e com áreas relativamente pequenas. A maior bacia da ilha é a da Ribeira da Janela com uma área em plana aproximada de 51 km<sup>2</sup>. Esta bacia situa-se a grande altitude, sendo que a maior parte está entre 500 e 800 m (PRAM, 2002).

A maior parte das principais ribeiras madeirenses vão para Norte ou para Sul, ao longo do eixo topográfico da ilha com a orientação de W-E, desde as cotas mais altas do interior até à foz, ao nível do mar. De modo geral, os cursos de água são estreitos, de pequeno comprimento e com uma orientação perpendicular à linha da costa, conforme se pode verificar através da Figura 2.20, onde se mostra a rede hidrográfica primária com a respetiva hipsometria.

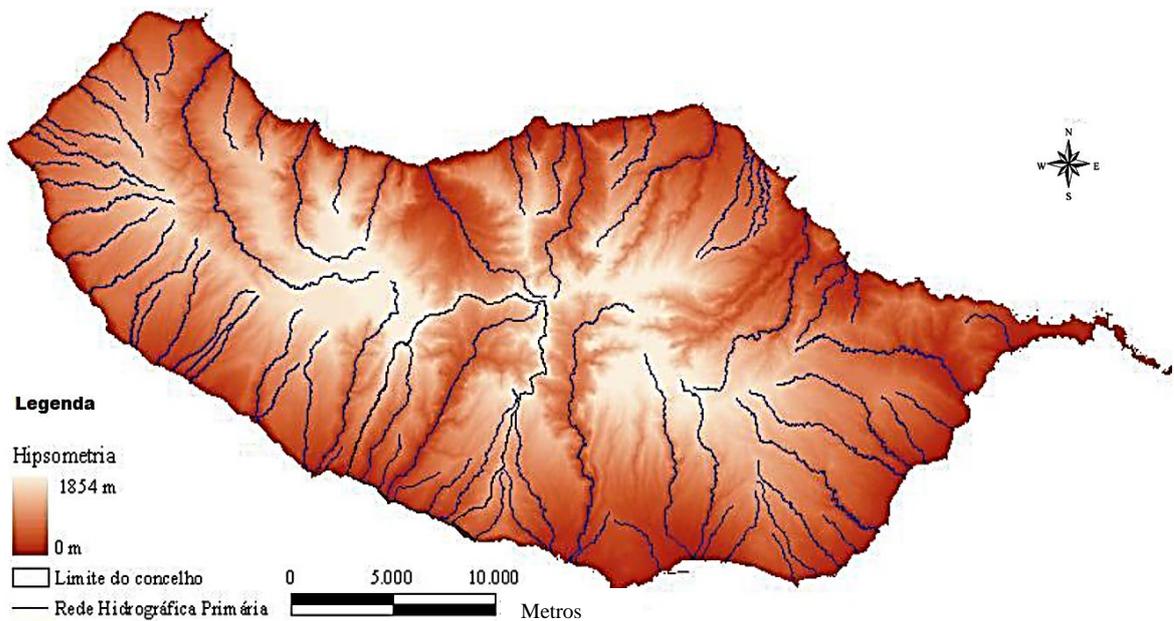


Figura 2.20: Configuração da rede hidrográfica primária (PRAM, 2002)

## **2.8 Solos representativos da ilha da Madeira**

A ilha da Madeira é a mais jovem do arquipélago com mesmo nome com cerca de 5 milhões de anos (Ma). Conjuntamente com as outras ilhas, sendo a mais antiga a ilha do Porto Santo, têm, geologicamente uma idade relativamente jovem. De maneira geral, a geologia da ilha da Madeira é predominantemente basáltica, tendo as rochas sedimentares pouca expressão.

### **2.8.1 Tipos de solos**

A formação e desenvolvimento do perfil pedológico da ilha da Madeira foi fortemente intervencionado pelo Homem que, de forma a construir terrenos aráveis e com grandes aptidões para uso na agricultura, aplicou técnicas simples para a sua concretização, designadamente a construção de “poios” - socalcos (Figura 2.21). Esta disposição do solo, para além de tornar a paisagem muito característica, acrescenta valor ao património regional.



Figura 2.21: Disposição do solo em socalcos  
(<https://plus.google.com/111008132778573987515/posts/Pp2gLHnmPC M>)

Na ilha da Madeira, os solos predominantes são os “*Andossolos*”, com cerca de 42% da área total da ilha e que, em geral, têm origem em materiais vulcânicos recentes, sendo, na sua maioria, de origem basáltica, o que os tornam ácidos. Ao contrário, no Porto Santo predominam os “*Calcissolos*”. De acordo com o PRAM, os terrenos acidentados com 37,7% da área ocupada, seguem-se aos “*Andossolos*”.

Segundo a Carta dos Solos da ilha da Madeira (Ricardo *et al.*, 1992), representada graficamente no anexo I, os solos com maior abundância na ilha, depois dos “*Andossolos*”, são os “*Terrenos Acidentados Dístricos*”, que por apresentarem afloramentos rochosos e muita pedregosidade à superfície não têm interesse agrícola. Logo a seguir, vêm os “*Umbric Andosols*”, ricos em matéria orgânica, com elevada reserva mineral e em algumas zonas, existe elementos tóxicos, e.g. alumínio. No entanto, estes “*Andossolos*” possuem características físicas muito favoráveis (PRPA, 2000).

Mais propenso para a atividade agrícola estão os “*Haplic Phaeozems*”, mas este tipo de solos tem menor representatividade relativamente aos anteriormente enumerados. No entanto, na ilha da Madeira, a construção de socalcos protege, em parte, estes solos de alguns agentes erosivos. Com menor, mas com alguma representatividade, encontram-se os “*Humic Cambisols*” e “*Chromic Cambisols*”.

## 2.8.2 Solos no concelho do Funchal

Na Carta dos Solos da ilha da Madeira de 1992 (anexo I) são identificados os seguintes grupos de solos (Figura 2.22) para o concelho do Funchal:

“*Terreno Acidentado Dístrico*” (TAd), “*Terreno Acidentado Êutrico*” (TAe), “*Eutric Vertisols*” (VRe), “*Haplic Phaeozems*” (PHh), “*Humic Cambosols*” (CMu), “*Chromic Cambosols*” (CMx), “*Umbric Andosols*” (ANu), “*Vitric Andosols*” (ANz) e *Eutric Fluvisols* (FLe).

Os solos “*Umbric Andosols*” (ANu) são os predominantes no concelho com cerca de 65.6% seguindo-se os “*Chromic Cambosols*” (CMx) e os “*Terreno Acidentado Dístrico*” (TAd) com 15.1% e 10.6%, respetivamente.

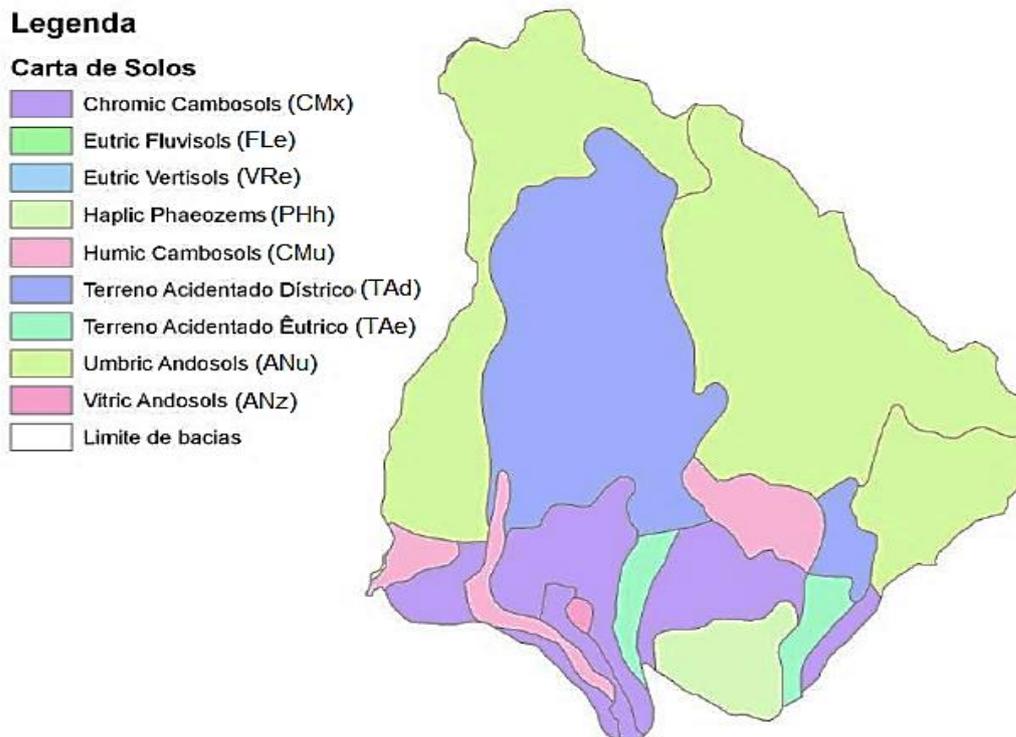


Figura 2.22: Carta de solos do concelho do Funchal (adaptado de Ricardo *et al.*, 1992)

## 2.9 Ocupação do solo e coberto vegetal

### 2.9.1 Introdução

O uso e ocupação do solo, em situações de cheias rápidas (enxurradas), consequência de períodos de precipitação intensa e prolongada, assume importância extrema. Atendendo ao exposto na secção 2.7, principalmente ao facto de as bacias hidrográficas possuírem comprimentos reduzidos, o que dá origem a tempos de concentração muito curtos, entende-se que a forma e distribuição dos solos tem muita relevância na proteção e mitigação das consequências de possíveis eventos meteorológicos semelhante ao vivido em fevereiro de 2010.

O coberto vegetal reveste-se de fundamental importância na formação do escoamento superficial. O escoamento pode ser retardado através da interceção e a presença de vegetação, criando assim uma primeira barreira ao mesmo escoamento, proporcionando um tempo maior para a fase de infiltração (Schiavetti *et al.*, 2005). As perdas no escoamento, por interceção situam-se entre 10% a 40%, variando em função do tipo de vegetação (Quintela, 1996).

O escoamento de água, numa bacia hidrográfica, particularmente nos cursos naturais e não intervencionados, depende em muito do tipo de solos e das suas características geológicas. A capacidade de retenção e infiltração, com influência na erosão da bacia e caudal de ponta de cheia, é condicionada pela estrutura e permeabilidade do solo (Lencastre *et al.*, 2006).

### 2.9.2 Ocupação do solo da ilha da Madeira

Na ilha da Madeira, a área ocupada pela floresta é mais de metade da ilha. Com cerca de um quarto do território estão os espaços naturais e a superfície ocupada para fins agrícolas é na ordem dos 18%. Apenas cerca 5% da superfície da ilha é usada como área social, encontrando-se a maior parte na costa Sul (PRAM, 2003).

Relativamente aos espaços naturais e/ou de proteção existe o Parque Natural da Madeira (PNM), que ocupa cerca de dois terços do território da ilha. Há ainda as reservas naturais. O PNM abrange diferentes áreas, que, “pelo elevado valor biológico e/ou paisagístico, importância científica, caráter e raridade, representatividade ou vulnerabilidade dos seus componentes naturais, se destacam das outras zonas do território” (PRAM, 2003).

Na ilha da Madeira, distinguem-se andares de vegetação estratificados em altitudes (Quintal, 2007), relacionados com a variação de situações climáticas como se mostra na Figura 2.23.

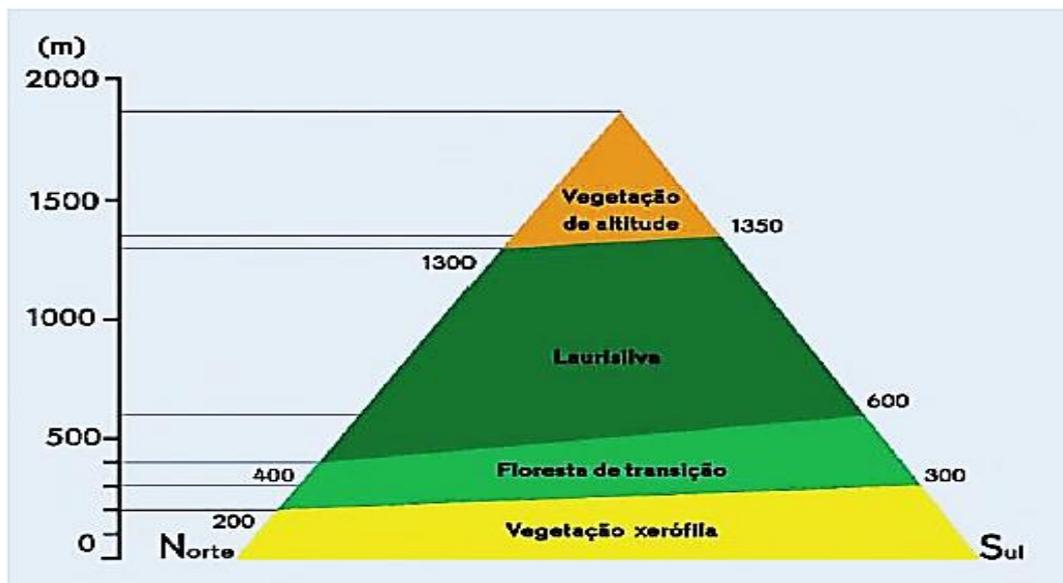


Figura 2.23: Andares fitoclimáticos (Quintal, 2007)

Por se ter a área social densamente ocupada e impermeabilizada, não obstante ser pequena, mas que se quer protegida, as áreas a montante têm uma função extremamente relevante para essa proteção. É aqui que se devem reter os materiais potencialmente destruidores, com barreiras naturais, desobstrução das linhas de água, proteção da vegetação, da floresta, etc. e com barreiras projetadas e executadas pelo Homem, como as analisadas neste trabalho.

### 2.9.3 Caracterização da ocupação do solo do território das bacias analisadas

A ocupação do solo do território das bacias hidrográficas, em especial aquele que se encontra nas imediações das linhas de água da respetiva bacia, tem especial relevância a sua análise para a previsão de deslizamentos ou eventuais movimentos de vertente e conseqüente arrastamento destes mesmos solos e detritos ali existentes pelos caudais produzidos a montante.

A carta COS 2007 da ilha da Madeira (Figura 2.24) evidencia que a classe dominante na área da bacia do Funchal é a das florestas e meios naturais e seminaturais, chegando muito perto dos 70%. No entanto, a classe de territórios artificializados atinge o valor apreciável de 27.5%. Para a classe áreas agrícolas e agroflorestais o valor ronda os 3%.

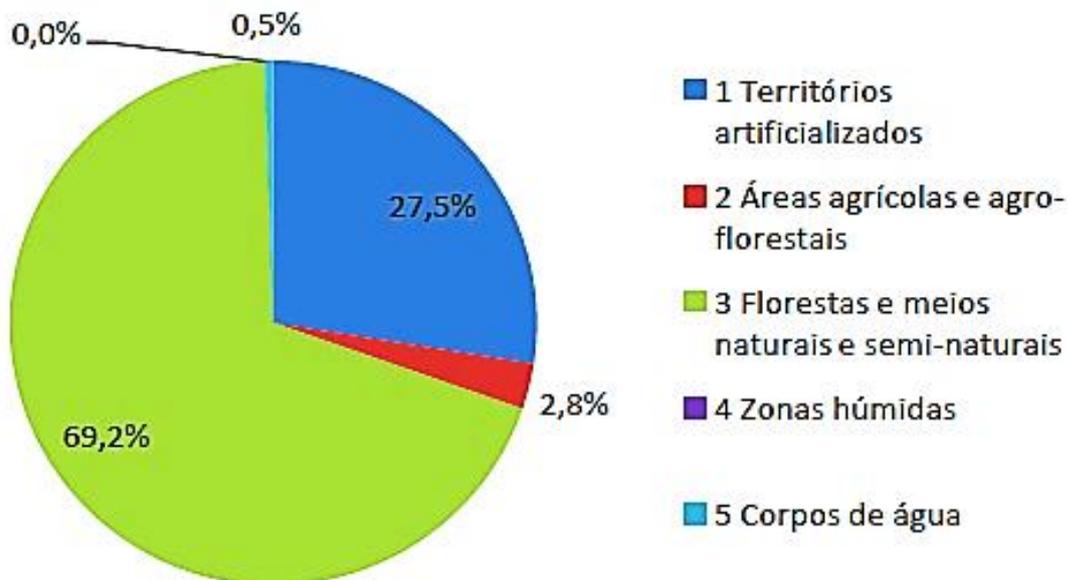


Figura 2.24: Distribuição da área por classes de ocupação (COS2007, nível1) nas bacias hidrográficas das ribeiras do Funchal (Adaptado de EARAM, 2010)

## 2.10 Síntese da caracterização da ilha da Madeira e bacias de estudo

Para sistematizar as principais características da ilha, principalmente aquelas que têm enquadramento preponderante e relevante para o tema aqui estudado, infra se apresenta os seguintes quadros e figuras.

### 2.10.1 Ribeiras do Funchal em estudo

A representação das bacias hidrográficas das três principais ribeiras do Funchal e intervencionadas é apresentada na Figura 2.25, com as linhas de água principais e os principais tributários.



Figura 2.25: Bacias e respetivas linhas de água principais do Funchal.

No Quadro 2-2, vão representados alguns aspetos fisiográficos das bacias das ribeiras que possibilitam a ponderação e o cálculo das estruturas a implantar no seu leito, para minimizar os efeitos de intempéries de grande magnitude. Observa-se, através dos parâmetros apresentados que existe alguma semelhança entre as várias bacias. Todas têm áreas e perímetros próximos, sendo a ribeira de São João a que mais se afasta dos valores das outras duas ribeiras. Para o declive médio das bacias, a ribeira de Santa Luzia é onde se encontra a maior inclinação, atingindo um valor superior aos 60%.

Quadro 2-2: Principais características das três bacias hidrográficas alvos de estudo

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Perímetro (km)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Extensão<sup>1</sup> (m)</b>	<b>Altitude máxima (m)</b>	<b>Declive médio<sup>2</sup> (%)</b>
<b>Ribeira João Gomes</b>	31.4	12.68	11172.0	1551.0	49.79
<b>Ribeira Santa Luzia</b>	31.2	14.32	11957.0	1660.0	60.07
<b>Ribeira São João</b>	32.9	14.96	12309.0	1660.2	49.65

### **2.10.2 Perfil longitudinal das ribeiras**

No Quadro 2-3 constam os perfis longitudinais das três ribeiras, onde se pode aferir que na ribeira de São João a inclinação máxima se encontra no último troço de 2 km. Verifica-se que na ribeira de Santa Luzia existem duas quedas abruptas, enquanto na ribeira de João Gomes o declive máximo está entre o km 6 e 8. Todas as bacias têm as linhas de água principais a se iniciarem a uma altitude próxima dos 1500 metros.

---

<sup>1</sup> Os valores da extensão medida aqui referem-se à extensão do curso de água principal.

<sup>2</sup> Declive médio da bacia hidrográfica (PRAM, 2002).

Quadro 2-3: Perfis longitudinais das três ribeiras

Ribeira	Caracterização	Perfil Longitudinal
São João	A extensão total é de 12309 m, com declive médio de 13.5 %. Inicialmente tem declive suave (cerca de 3.5 % nos 1 <sup>os</sup> 2 km) subindo até à nascente, sendo que apresenta o declive máximo nos últimos 2 km (cerca de 23 %)	
Santa Luzia	A ribeira tem uma extensão de 11957 m e o declive médio de 13.9 %. Tem um declive de 5.5 % nos 2 primeiros km. Próximo do 8 <sup>o</sup> e 10 <sup>o</sup> km existem quedas abruptas, no entanto, o declive é máximo nos últimos 2 km (30.5%).	
João Gomes	Desenvolve-se em 11172 m com declive médio de 13.9 %. Nos primeiros 2 km, apresenta um declive suave, cerca de 5.5 %, seguindo uma tendência ascendente, com exceção dos últimos 2 km. Verifica-se o declive mais acentuado entre 6 a 8 km.	

## 2.11 Localização das estruturas

Os locais intervencionados e onde foram implantadas as estruturas estudadas neste trabalho, estão assinalados na Figura 2.26, a mesma, foi executada com auxílio da ferramenta *Google Earth (software)*. Para um maior rigor na identificação dos mesmos locais, é feita a correspondência entre a figura, com os respetivos *zoom's*, e o Quadro 2-4 que se segue, onde são apresentadas as coordenadas individuais de cada estrutura.



Figura 2.26: Locais de implantação das estruturas

Quadro 2-4: Localização dos açudes no leito das três ribeiras

Açude	Cota (m)	Coordenadas		
		Latitude	Longitude	
<b>Açudes construídos na ribeira São João</b>				
	A5	791.50	32°41'56.30"N	16°55'57.31"W
	A6	713.00	32°41'36.10"N	16°56'40.42"W
	A7	664.00	32°41'27.43"N	16°56'50.05"W
	A8	532.00	32°41'30.48"N	16°56'90.90"W
<b>Açudes construídos na ribeira Santa Luzia</b>				
	A1	612.00	32°41'43.67"N	16°55'30.54"W
	A2	639.00	32°41'48.87"N	16°55'90.39"W
	A3	698.00	32°42'00.83"N	16°55'16.30"W
	A4	736.00	32°42'80.23"N	16°55'17.29"W
<b>Açudes construídos na ribeira João Gomes</b>				
	A4	210.00	32°40'11.18"N	16°53'47.04"W
	A3	190.50	32°40'40.48"N	16°53'47.43"W
	A2	177.95	32°40'00.76"N	16°53'50.44"W
	A1	158.50	32°39'56.15"N	16°53'50.20"W

Observação:

Verifica-se que para a ribeira São João, os açudes construídos iniciam-se na numeração “A5” de projeto. Tal deve-se ao facto de inicialmente estarem previstos 8 açudes, mas por constrangimentos orçamentais, a fase de execução onde se incluíam os primeiros 4 foi temporariamente suspensa.

## **2.12 Aluviões e o ordenamento do território**

A aluvião de 20 fevereiro de 2010 teve grandes repercussões nas rotinas dos madeirenses. Tendo em conta a gravidade deste evento meteorológico, o Governo Regional (GR), através da extinta Secretaria Regional do Equipamento Social (SRES) solicitou o estudo, já mencionado na introdução deste documento, que visa caracterizar as ocorrências, cadastrando as áreas mais suscetíveis às mesmas, e as medidas mitigadoras aplicáveis à região - “Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na ilha da Madeira (Outubro 2010) ”.

Constitui um risco acrescido as construções existentes no leito de cheia e junto à base de vertentes instáveis. Contudo, não obstante a panóplia de leis que se apresentam no Quadro 2-5 e outras existentes, as infrações continuam a existir contrariando o esforço das entidades para um maior rigor no ordenamento do território e à mitigação dos riscos naturais.

De acordo com o PRAM (2008) as situações de risco com maior relevância para o estudo presente são:

- Ocorrências de carácter hidrológico extremas (secas, cheias e inundações);
- Erosão do solo na bacia e suas vertentes associada aos problemas de transporte sólido nos cursos de água;
- Riscos geológicos.

Para além do estudo supracitado, existem as recomendações legislativas que têm que ser observadas pelas entidades que tutelam a prevenção e ordenamento do território. No Quadro 2-5 apresentam-se algumas dessas recomendações e que se entendem pertinentes para esta temática.

Quadro 2-5: Enquadramento institucional

<b>Regulamentação</b>	<b>N</b>	<b>R</b>	<b>CL</b>	<b>Especificidades/Determinações</b>
Decreto-lei nº27/2006 de 3 de julho - Lei de Bases da Proteção Civil	x		PC	O “levantamento, previsão, avaliação e prevenção dos riscos coletivos do município”. Imposição aos utilizadores do solo, tendo em conta os riscos para o interesse público.
Decreto-lei nº65/2007, de 12 de novembro	x		PC	Recomenda-se a realização de uma carta de risco e um plano prévio de intervenção de cada tipo de risco existente no município.
Lei n.º 31/2014, de 30 de maio	x		OT	Prepara o solo para os fenómenos climáticos extremos e combater a erosão dos solos.
Decreto legislativo regional 8-A/2001/M de 20 de abril		x	OT	Estabelece que o GR procede à definição e execução da política regional de ordenamento do território e urbanismo
Decreto legislativo regional nº 43/2008/M de 23 de dezembro		x	PC	Prevê a introdução das condicionantes para a implementação dos planos de proteção civil.
Decreto legislativo regional nº16/2009/M de 30 de junho		x	PC	Prevê a obrigatoriedade do plano municipal de emergência ter uma carta de risco.
Decreto legislativo regional n.º 33/2008/M de 14 agosto		x	OT	Contempla a obrigação de previsão e demarcação cartográfica das áreas inundáveis. Regula com interdições e restrições previstas na lei para as zonas adjacentes às margens.
Decreto-lei nº364/98 de 21 de novembro	x		OT	Estabelece a criação do grau de afetação e de periodicidade dos processos de perigosidade de cheias e inundações por parte dos municípios. Também devem elaborar cartas de zonas de possíveis inundações e inserir nos planos municipais de ordenamento do território.
Decreto-lei nº115/2010 de 22 de outubro	x		OT	A articulação entre os instrumentos de gestão territorial e os planos e cartas de riscos de inundações.

Em que N se refere a legislação nacional, R a legislação regional, CL é a classe onde se enquadra (PC - proteção civil e OT - ordenamento do território), GR - governo regional.

Atendendo a todo o exposto, urge criar uma consciência de risco junto das populações, para que, se a situação o exigir, estas possam ter orientações de como agir e reagir às intempéries mais severas e exijam das entidades responsáveis, as medidas mitigadoras das consequências destas intempéries e também o ordenamento e planeamento eficaz das zonas habitadas e habitáveis.

### **3. Caracterização Hidrológica e Hidráulica. Funcionalidades das soluções adotadas**

### **3.1 Introdução**

Este capítulo do trabalho é dedicado à caracterização do funcionamento, tipologias, manutenção, implantação e funcionalidades das soluções adotadas, nas diferentes ribeiras. No entanto, para cada secção de cálculo, usam-se os parâmetros relativos à ribeira de São João, deixando as duas ribeiras restantes para o quadro resumo por se seguir a mesma metodologia.

Inicia-se com uma caracterização hidrológica e os fatores fisiográficos representativos e influentes nas respetivas bacias hidrográficas. São abordados os parâmetros de dimensionamento que permitem a determinação do tempo de concentração e do caudal de ponta. Seguidamente, faz-se uma caracterização hidráulica dos diversos elementos das soluções adotadas, apresentando-se alguns dos métodos de dimensionamento, expondo-se a respetiva formulação.

### **3.2 Caraterização hidrológica**

#### **3.2.1 O ciclo hidrológico**

O ciclo hidrológico é uma sequência fechada e contínua de fenómenos, através dos quais a água passa da Terra para atmosfera em vapor de água, pelo processo de evaporação e evapotranspiração voltando ao globo terrestre nas fases líquida e sólida, por condensação precipitando-se sob a forma de chuva ou neve (Quintela, 1996)

No trabalho de Chow *et al.*, (1988) é mencionado que o movimento da água na hidrosfera e a sua interação com o meio envolvente constitui o ciclo hidrológico.

De forma genérica, o ciclo hidrológico (Figura 3.1) é o fenómeno que está ligado ao movimento da água nos diferentes estados físicos, que ocorre na hidrosfera. A troca de água dá-se entre as águas superficiais, os oceanos, as calotes de gelo, as águas subterrâneas e a atmosfera. A sequência fechada e contínua deve-se ao Sol que é a principal fonte de energia, (Lencastre e Franco, 2006), que leva a água da terra para a atmosfera - evaporação. A água condensada - precipitação, cai por ação da gravidade - energia potencial gravítica. Esta, de volta à superfície terrestre, circula nas linhas de água até aos oceanos, dando origem assim ao escoamento

superficial. Parte da água da precipitação forma o escoamento subterrâneo, quando se infiltra nos solos e rochas através dos seus poros, fissuras e fraturas.

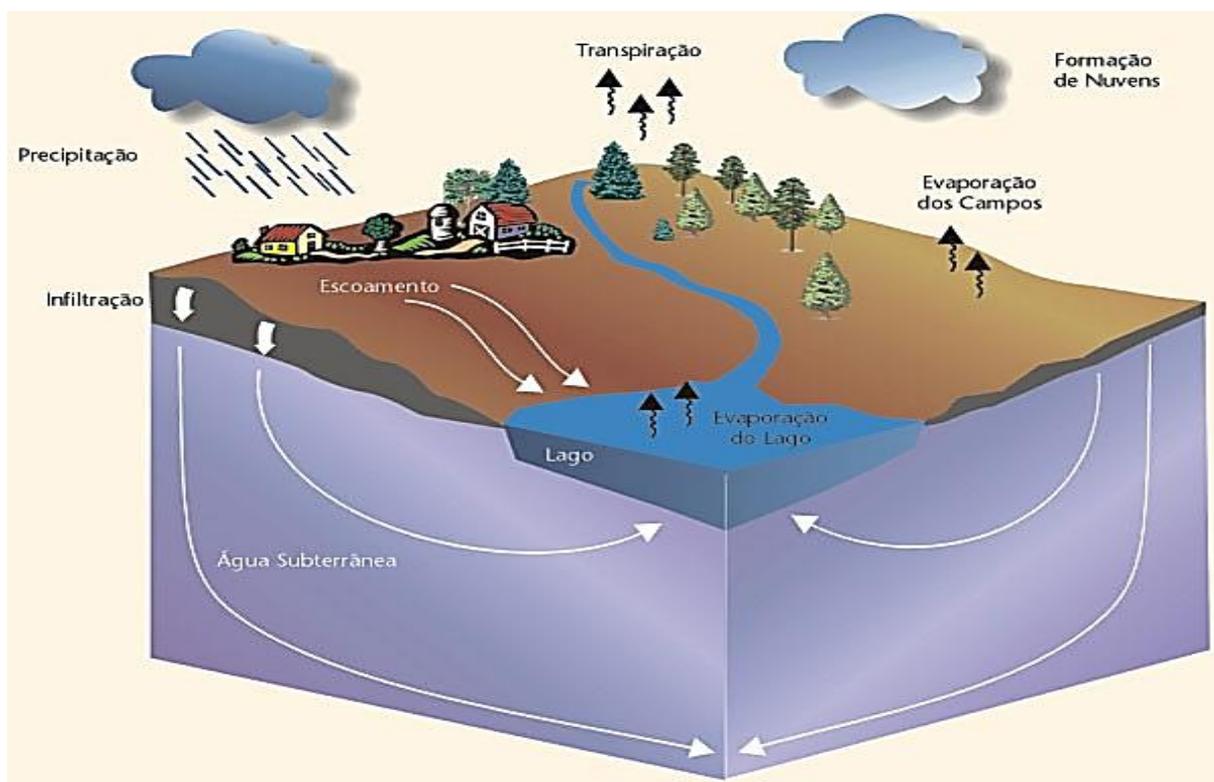


Figura 3.1: Ciclo hidrológico (<http://www.lneg.pt>)

### 3.2.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise, no estudo da fase terrestre do ciclo hidrológico por se tratar da área física onde se dá o escoamento, principalmente o superficial. Na Figura 3.2 está esquematizado um corte transversal de uma bacia com as suas delimitações topográficas e freáticas.

De um modo geral, admite-se que a bacia hidrográfica é uma área drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, onde há transporte de sedimentos, materiais dissolvidos e vários nutrientes até a secção de referência, (Ramos, 2005).

Uma bacia tem os seus limites definidos pela linha divisória de águas situada nas linhas de cumeeada ou de festo, sendo estas as linhas que unem os pontos de maior cota da bacia e que separam as várias bacias.

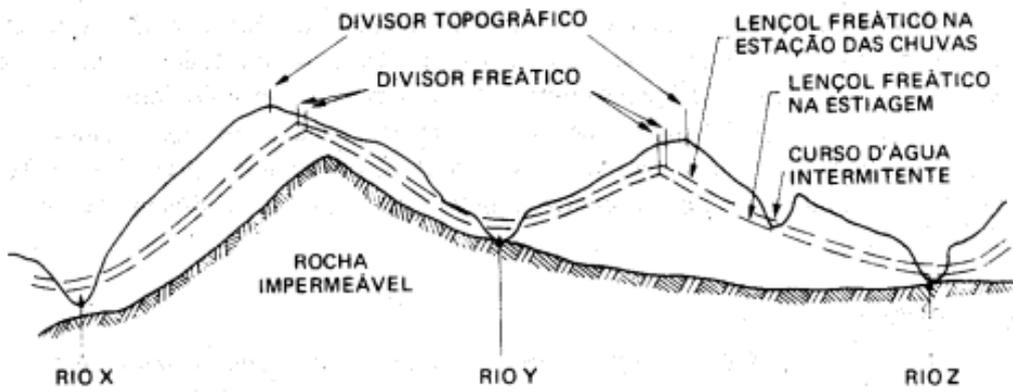


Figura 3.2: Vista transversal de uma bacia hidrográfica (Villela, 1975)

Tratando-se da unidade fundamental de aplicação prática da hidrologia, reveste-se de importância capital fazer algumas considerações sobre este elemento com vista ao dimensionamento hidroológico com pertinência para o estudo. Na Figura 3.3 encontram-se as bacias e sub-bacias hidrográficas da ilha da Madeira, com destaque para as três bacias aqui estudadas.

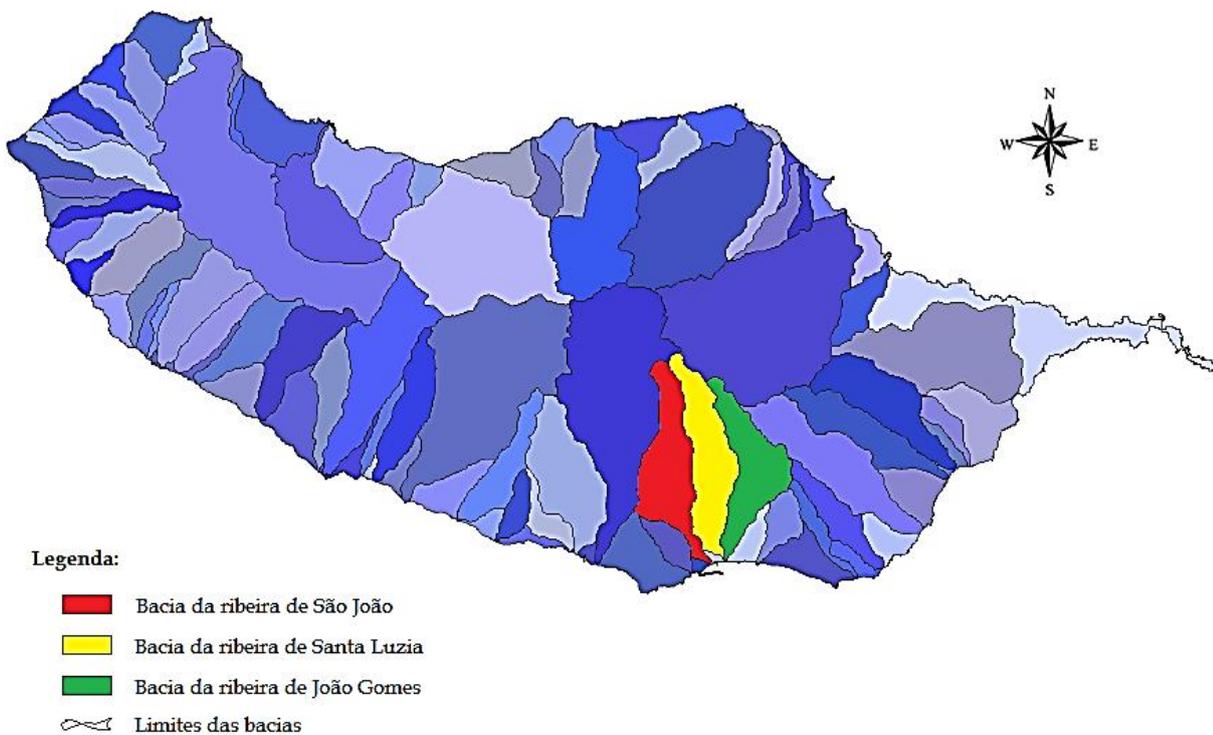


Figura 3.3: Bacias hidrográficas da ilha da Madeira

### 3.2.3 Parâmetros quantitativos das bacias hidrográficas

A análise linear, areal e hipsométrica são os componentes da análise quantitativa das bacias hidrográficas. As medições ao longo das linhas de água pertencem a análise linear. Os indicadores nos quais estão as medições planimétricas incluem-se na análise areal. Por fim, os parâmetros dependentes do relevo representam a terceira dimensão, ou seja, a análise hipsométrica.

### 3.2.4 Geometria

Perímetro - linha divisória de águas que delimita a bacia.

Área - área plana limitada pelo perímetro da bacia.

Forma - comparação entre a forma da bacia e a de figuras geométricas regulares, como o retângulo ou o círculo.

Comprimento de uma bacia - maior distância em linha reta, entre a desembocadura e o ponto mais alto situado sobre o perímetro.

Como exemplo, mostram-se os valores obtidos para a ribeira de São João. Adiante, apresenta-se um quadro com os valores para as três ribeiras alvo deste trabalho.

- **Área e perímetro da bacia da ribeira São João (Quadro 3-1):**

Quadro 3-1: Valores da área e do perímetro da bacia hidrográfica de São João.

	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)
Ribeira São João	14.96	32.9

### Fator de forma, $K_F$ (Horton, 1945)

A determinação da forma da bacia foi estimada pela equação 3.1, proposta por Horton (1945) e que se apresenta a seguir.

$$K_F = \frac{A_b}{C_b^2} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde,

$K_F$  - fator de forma (-);  $A_b$  - área da bacia (km<sup>2</sup>);  $C_b$  - comprimento da bacia (km).

O valor do fator de forma situa-se no intervalo [0, 1]. Para valores próximos do 0 temos bacias alongadas e próximos de 1, a bacia é arredondada. Este índice constitui um indicador da maior ou menor tendência para a ocorrência de cheias na bacia. Quanto menor for o valor do fator de forma, menor a probabilidade de ocorrência de cheias rápidas, quando comparado com outra do mesmo tamanho mas com fator de forma próximo de 1 (Villela e Mattos, 1975).

- **Fator de forma da ribeira São João:**

$$K_F = \frac{A_b}{C_b^2} = \frac{14.9}{10.2^2} = 0.143 \quad (\text{Equação 3.1a})$$

Como temos o valor do fator de forma baixo, a bacia de São João é alongada.

### **Coefficiente de compacidade ou índice de Gravelius, $K_c$**

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A_b}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde,

$K_c$  - coeficiente de compacidade (-);  $A_b$  - área da bacia (km<sup>2</sup>);  $P_b$  - perímetro da bacia (km).

Conforme se verifique de acordo com as condições abaixo (Quintela, 1996), a bacia toma a correspondente forma:

$K_c < 1$  a bacia é arredondada;

$K_c = 1$  a bacia é circular;

$K_c = 1.128$  a bacia é quadrada;

$K_c > 1.128$  torna-se necessário o cálculo do índice de alongamento,  $K_L$ :

$K_L > 2$  a uma bacia alongada.

Assim, para bacias circulares existe maior potencialidade de cheias rápidas.

- **Coefficiente de compacidade da ribeira São João:**

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A_b}} = 0.28 \frac{32.9}{\sqrt{14.9}} = 2.386 \quad (\text{Equação 3.2a})$$

Como o índice de compacidade é superior a 1.128 implica o cálculo do índice de alongamento,  $K_L$ .

### Índice de alongamento, $K_L$

O índice de alongamento de uma bacia hidrográfica é dado pela equação (3.3) e se este for superior a 2 a bacia é considerada alongada.

$$K_L = \frac{L_r}{b_r} \quad \text{(Equação 3.3)}$$

Onde,

$K_L$  - índice de alongamento (-);  $L_r$  - comprimento equivalente do retângulo (un);  $b_r$  - largura equivalente do retângulo (un).

Com,

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{A_b}}{1.128} \left| 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right| \quad \text{(Equação 3.4)}$$

e

$$b_r = \frac{K_c \sqrt{A_b}}{1.128} \left| 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right| \quad \text{(Equação 3.5)}$$

- **Índice de alongamento da ribeira São João:**

Substituindo os valores de  $K_c$  e  $A_b$  nas equações (3.4) e (3.5) vem,

$$L_r = \frac{2.386 \sqrt{14.9}}{1.128} \left| 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{2.386} \right)^2} \right| = 15.406 \quad \text{(Equação 3.4a)}$$

e

$$b_r = \frac{2.386 \sqrt{14.9}}{1.128} \left| 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{2.386} \right)^2} \right| = 0.973 \quad \text{(Equação 3.5a)}$$

Então, para o índice de alongamento, vem:

$$K_L = \frac{L_r}{b_r} = 15.834 \quad (\text{Equação 3.3a})$$

O  $K_L = 15.834$ , muito superior a 2, o que nos permite afirmar que a bacia é considerada alongada. Assim, o risco de cheia é menor por se terem linhas de água com percursos maiores o que se traduz num maior tempo de escoamento permitindo um tempo de resposta maior.

### **3.2.5 Rede de drenagem**

A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é composta pelo curso de água principal assim como pelos cursos secundários, seus afluentes, que encerram maior ou menor complexidade, dependendo da ramificação apresentada e que encaminham o escoamento, principalmente o superficial e proveniente da chuva até à foz. Segundo Prada, (2012), a rede é caracterizada pela ordem da rede - hierarquia e pela constância do escoamento.

A classificação das bacias segundo o escoamento global é feita através da forma como se processa o escoamento e para onde se dirige. Assim, as bacias classificam-se em: exorreicas, endorreicas, arreicas e criptorreicas. No caso das três ribeiras estudadas, elas apresentam um padrão de drenagem paralelo, típico de regimes em formações vulcânicas recentes (AERAM, 2010) e a tipologia atribuída é exorreica por drenarem diretamente para o mar.

#### **Hierarquia e magnitude**

A hierarquia e magnitude estão presentes nas obras de Strahler, (1952) e Shreve, (1966), respetivamente, conforme relatos sucintos que a seguir se descrevem.

- Método de Strahler

O método classifica o grau de ramificação ou bifurcação encontradas numa bacia hidrográfica (Prada, 2012). As linhas de água superiores, ou seja, as que não recebem outras

são as de primeira ordem. Sempre que duas linhas de água se encontram ou confluem, a ordem sobe um valor e assim até ao curso de água principal, que será de ordem mais elevada (

Figura 3.4 a e b). Genericamente, uma linha de água de ordem (n) é formado por duas ou mais de ordem (n-1). Note-se que se se encontrarem ordens diferentes a classificação atribuída é a que tiver maior valor.

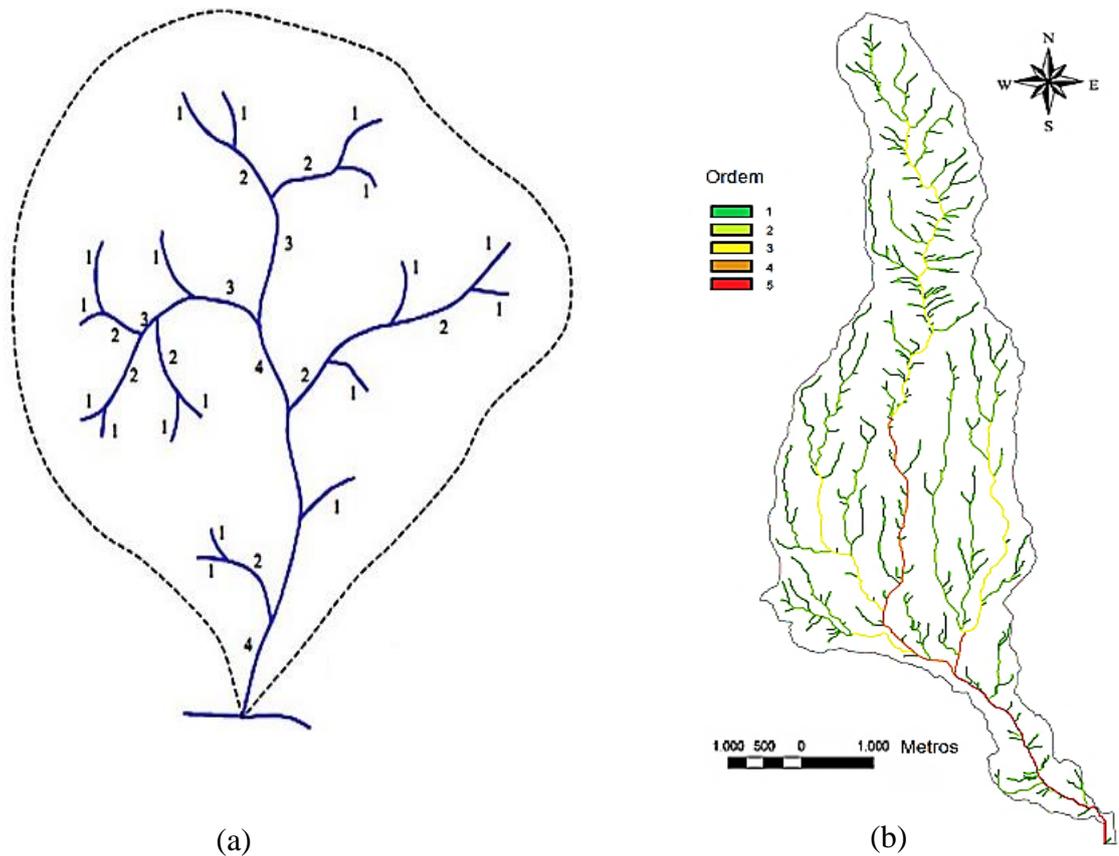


Figura 3.4: (a) - Esquema da hierarquização segundo Strahler, (b) - Hierarquia da ribeira São João.

- Método de Shreve

A magnitude de uma bacia hidrográfica, expressa neste trabalho, foi a apresentada por Shreve (Figura 3.5 a e b). Ao contrário da classificação de Strahler, quando há junção de dois cursos de água a ramificação é somada.

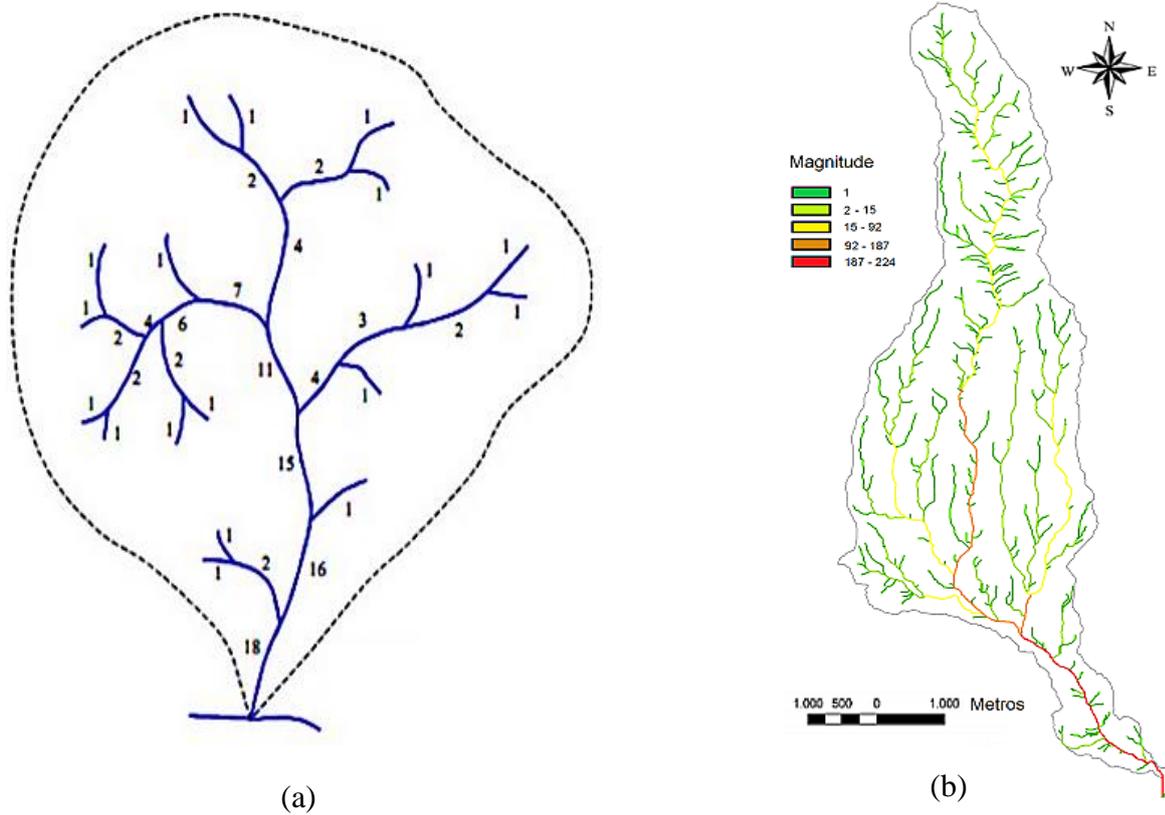


Figura 3.5: (a) - Esquema da magnitude segundo Shreve, (b) - Magnitude da ribeira São João

No quadro a seguir, estão presentes os valores máximos para a ordem e magnitude da ribeira São João segundo Strahler e Shreve, respetivamente.

Quadro 3-2: Ordem e magnitude da rede de drenagem

Hierarquia	Magnitude
5	224

### Constância do escoamento

O regime de escoamento determina três categorias: efémero, intermitente ou permanente. As principais ribeiras da RAM, em particular as do Funchal têm um regime permanente, não obstante existirem períodos que, por observação direta, pareçam intermitentes.

### Comprimento da linha de água principal

A distância ao longo da linha de água desde a foz até à cabeceira mais longínqua é considerado o comprimento do curso de água principal. De entre algumas regras, Horton (1945) propôs a

seguinte: saindo de jusante de cada confluência estender a linha para montante do curso de água, para além da bifurcação, seguindo a mesma direção.

### Densidade de drenagem

Este parâmetro fornece uma primeira indicação da eficiência da drenagem natural da bacia. Quanto maior for a densidade de drenagem mais bem drenada será a bacia. Depreende-se de imediato que, há uma relação intrínseca entre este indicador e o substrato geológico, o relevo e a ocupação do solo. No Quadro 3-3 são apresentados os valores extremos a partir dos quais se classificam as bacias relativamente à sua drenagem (Gregory *et al.*, 1973).

Quadro 3-3: Classes da densidade de drenagem (Gregory *et al.*, 1973)

Densidade de Drenagem, $D_d$ (km/km <sup>2</sup> )	Classificação
$D_d < 3$	muito baixa
$3 \leq D_d \leq 5$	baixa
$5 \leq D_d \leq 7$	média
$7 \leq D_d \leq 9$	elevada
$9 \leq D_d \leq 11$	muito elevada
$D_d \geq 11$	extremamente elevada

Para densidades de drenagem elevadas, a exposição às cheias é maior do que para bacias de drenagem reduzida (Lopes, 2003). Relaciona o comprimento total dos cursos de água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros, da bacia,  $L_t$ , em km com a área da bacia, em km<sup>2</sup>.

$$D_d = \frac{L_t}{A_b} \quad \text{(Equação 3.6)}$$

Em que,

$D_d$ - densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);  $L_t$  - comprimento total dos cursos de água (km);  $A_b$  - área da bacia (km<sup>2</sup>).

- **Densidade de drenagem da bacia da ribeira São João (Quadro 3-4):**

Quadro 3-4: Densidade de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de São João

Bacia Hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Comprimento total da Rede (km)	Densidade de Drenagem (km/km <sup>2</sup> )
São João	14.90	44.6	2.99

### Densidade hídrica

A densidade hídrica (Ferreira, 2010) fornece uma indicação do número de cursos de água existentes, por quilómetro quadrado na bacia hidrográfica. É calculada pela expressão seguinte:

$$D_h = \frac{N}{A_b} \quad \text{(Equação 3.7)}$$

onde,

$D_h$  - densidade de hídrica (n.º c.a./km<sup>2</sup>);  $N$  - número de cursos de água (-);  $A_b$  - área da bacia (km<sup>2</sup>).

- **Densidade hídrica da bacia da ribeira São João:**

$$D_h = \frac{224}{14.9} = 15.03 \text{ n.º c. a./km}^2 \quad \text{(Equação 3.7a)}$$

### Coefficiente de torrencialidade

É um coeficiente utilizado essencialmente em bacias hidrográficas pequenas, onde se verifica um escoamento torrencial, devido ao tempo de concentração e de resposta serem reduzidos (Vivas, 1966). A torrencialidade aumenta quanto maior for este valor, o seu coeficiente é calculado pela expressão seguinte:

$$C_t = D_h \times D_d \quad \text{(Equação 3.8)}$$

onde,

$C_t$  - coeficiente de torrencialidade (-);  $D_h$  - densidade de hídrica (nºc.a./km<sup>2</sup>);  $D_d$  - densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

- **Coeficiente de torrencialidade da bacia da ribeira São João:**

$$C_t = 15.03 \times 2.99 = 44.94 \quad \text{(Equação 3.8a)}$$

O coeficiente de torrencialidade tem o valor de 44.94, que se pode considerar um valor significativo da sua torrencialidade.

### **Sinuosidade do curso de água**

A sinuosidade de uma linha de água,  $S$ , é um índice a partir do qual se afere a velocidade do escoamento, isto é, controla a velocidade da ribeira (Lousada, 2013-2014). Estima-se o seu valor a partir da equação 3.9, que infra se descreve.

$$S = \frac{L_b}{L} \quad \text{(Equação 3.9)}$$

Com,

$L_b$  - comprimento da linha de água principal (m);  $L$  - Comprimento do curso de água segundo uma diretriz (m).

- **Sinuosidade da ribeira São João:**

$$S = \frac{12309.0}{9907.2} = 1.242 \quad \text{(Equação 3.9a)}$$

### **3.2.6 Perfil longitudinal - relevo**

A altitude e a inclinação das vertentes da bacia têm influência direta no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. A inclinação das vertentes afeta alguns fatores importantes a ter em conta na caracterização e na implantação de obra no leito das ribeiras, designadamente a erosão dos solos da bacia, a infiltração que, por força de variação da altitude dá lugar a fortes

variações de temperatura, precipitação e evapotranspiração. Outra fator extremamente relevante são os picos de cheias.

A fim de caracterizar o relevo das bacias é pertinente o cálculo do índice de rugosidade e de relevo. Serão exemplificados os cálculos destes índices para a ribeira São João, assim como as figuras da inclinação das vertentes e a altimetria da bacia hidrográfica.

### **Índice de rugosidade**

O índice de rugosidade é calculado através da expressão (3.10) e assume valores grandes para bacias muito acidentadas.

$$I_r = H_{max} \times D_d \quad (\text{Equação 3.10})$$

Onde,

$I_r$  - índice de rugosidade (-);  $H_{max}$  - altura da bacia (m);  $D_d$  - Densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

- **Índice de rugosidade da bacia da ribeira São João:**

$$I_r = 1763 \times 2.99 = 5271.4 \quad (\text{Equação 3.10a})$$

### **Índice de relevo**

Este índice é um indicador da inclinação da bacia. Se assumir valores grandes, o relevo é bastante pronunciado, influenciando desta forma a velocidade do escoamento e, consequentemente a chegada rápida das águas à secção de referência.

O índice de relevo é calculado pela expressão seguinte:

$$I_{relevo} = \frac{H_{max}}{C_b} \quad (\text{Equação 3.11})$$

Onde,

$I_{relevo}$  - índice de relevo (-);  $H_{max}$  - altura da bacia (m);  $C_b$  - comprimento da bacia (km).

- **Índice de relevo da bacia da ribeira São João:**

$$I_{relevo} = \frac{1763}{10197} = 0.173 \quad (\text{Equação 3.11a})$$

A inclinação (em graus) e localização das vertentes da bacia hidrográfica, assim como as partes de maior inclinação da bacia da ribeira São João são mostradas nas Figura 3.6 (a) e (b).

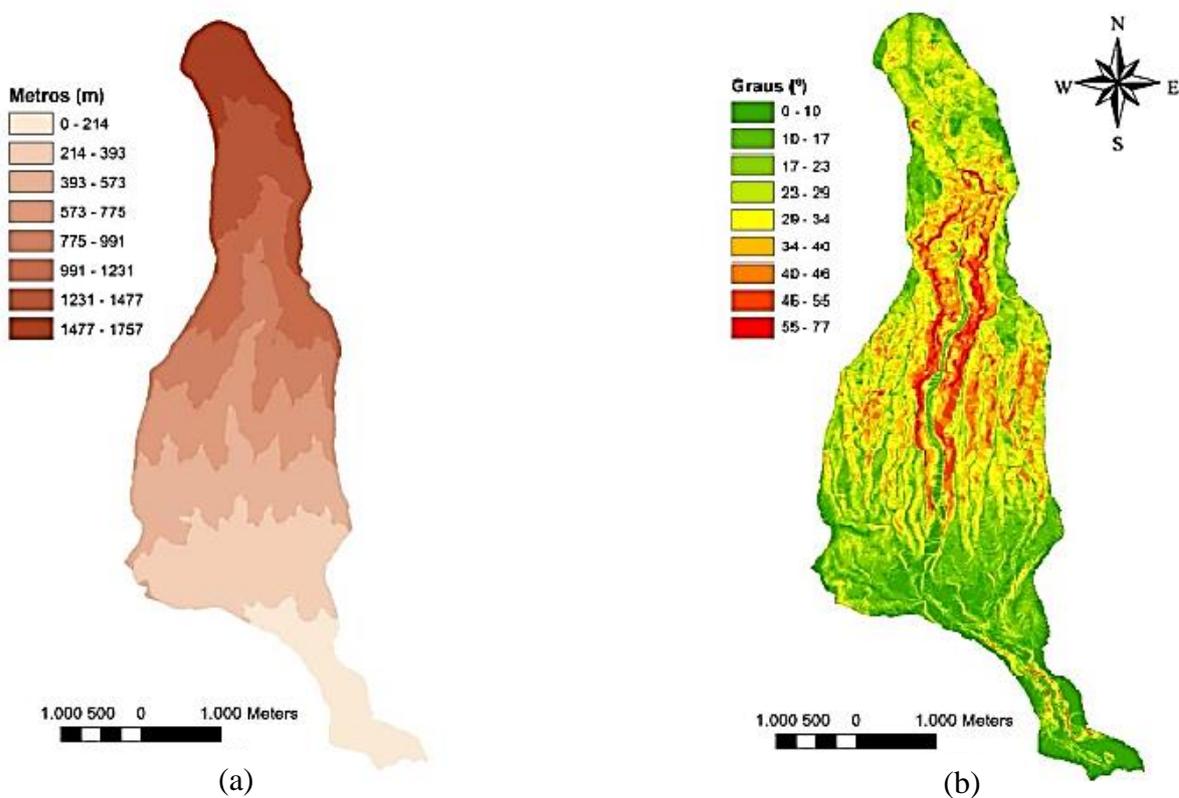


Figura 3.6: (a) - Altimetria da bacia hidrográfica da ribeira São João, (b) - Inclinação das vertentes da ribeira São João (Adaptado de (Teixeira, 2010))

### Hipsometria

A elevação dos solos que compõem a bacia, relativamente ao nível médio das águas do mar é comumente representado pela curva hipsométrica. Trata-se de uma representação gráfica do

relevo da bacia hidrográfica. Para a ribeira São João, apresenta-se na Figura 3.7, o perfil longitudinal, à semelhança do subcapítulo 2.10.2, mas de forma detalhada.

Observa-se que nos primeiros quilómetros da curva representada a inclinação é a mais acentuada. Na proximidade do segundo quilómetro verifica-se um súbito aumento do declive, que se deve à existência de quedas abruptas (cascatas) nesta zona, que ainda se situa numa área montanhosa, o que faz baixar bruscamente a altitude do curso de água. A partir de metade do percurso, aproximadamente, observa-se uma ligeira redução da inclinação, que pode ser consequência do facto de se tratar de uma zona canalizada, iniciando-se antes dos 7000 metros.

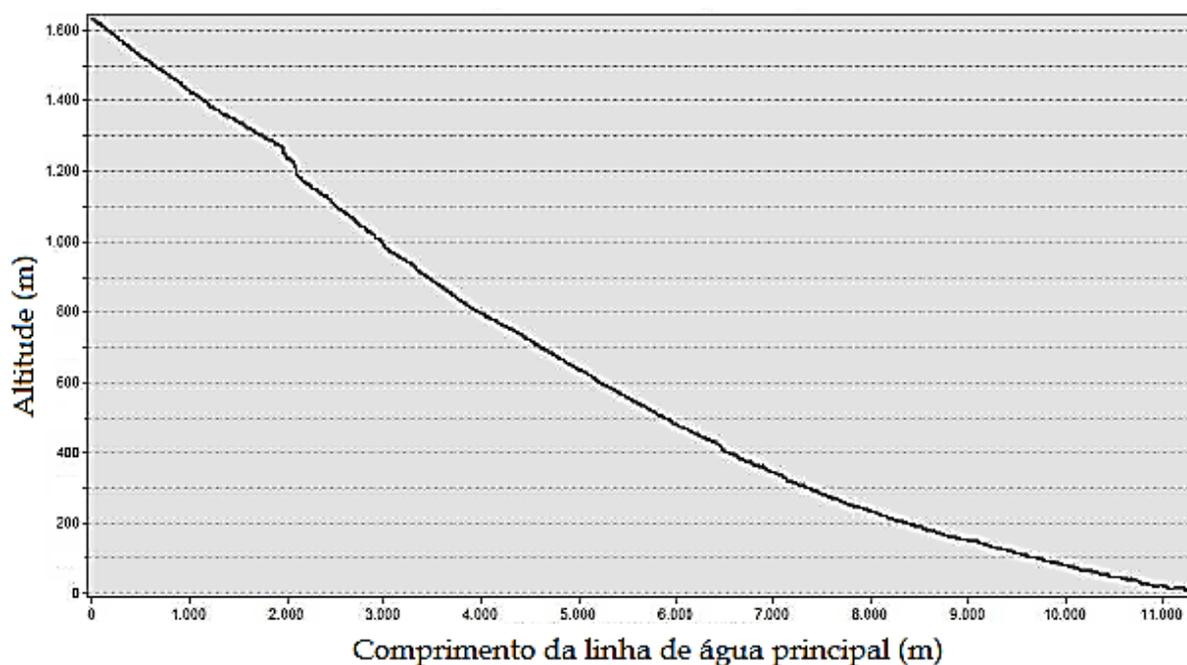


Figura 3.7: Perfil longitudinal da ribeira São João (Adaptado de (Teixeira, 2010))

### 3.2.7 Formas de escoamento

O escoamento que passa numa secção de uma linha de água numa bacia hidrográfica pode ser descrito através dos seus componentes. Desta forma, o escoamento divide-se em:

- Escoamento superficial ou direto;
- Escoamento subsuperficial ou intermédio;
- Escoamento subterrâneo ou de base;
- Escoamento resultante da precipitação sobre a rede hidrográfica.

No entanto, é frequente considerar-se apenas o escoamento direto e o escoamento de base, devido à reduzida contribuição das outras componentes para o escoamento.

Segundo Chow *et al.*, (1988), o escoamento é condicionado por fatores que podem ser dividido em dois grupos (Quadro 3-5), os climáticos e os fisiográficos.

Quadro 3-5: Fatores condicionantes do escoamento (adaptado de (Chow *et al.*, 1988))

<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fatores condicionantes</b>
Climáticos	Precipitação	Modalidade (Chuva, neve, granizo, orvalho, neblina ou geada), distribuição no tempo e no espaço, frequência de ocorrência, direção dominante das tempestades, precipitação precedente e humidade do solo.
	Evaporação	Temperatura, vento, pressão atmosférica, natureza e superfície de evaporação.
	Transpiração	Temperatura, radiação solar, vento, humidade do ar e do solo e tipo de vegetação.
Fisiográficos	Características da bacia	Geométricas: forma, tamanho, declive, orientação e elevação. Físicas: cobertura e utilização do solo, tipo de solo, infiltração, permeabilidade, topografia e capacidade de formar toalhas subterrâneas.
	Características dos cursos de água	Capacidade de escoamento, dimensão e forma da secção transversal, declive, rugosidade, características da rede hidrográfica, e comprimento do curso de água. Capacidade de armazenamento.

### 3.2.8 Precipitação

A variação da precipitação na ilha da Madeira é pouco significativa ao longo do ano, como suprarreferido na secção 2.5. No entanto, em alguns anos, este fenómeno assume valores anormais e pontualmente localizados, dando origem a aluviões mais ou menos severas.

A precipitação média anual é a quantidade de precipitação que cai numa bacia hidrográfica no ano hidrológico. Pode ser obtida pelo método da média aritmética, pelo método das isoietas (Figura 3.8 mostra este método para a ribeira São João) ou pelo método de Thiessen.

- **Precipitação média anual da bacia da ribeira São João**

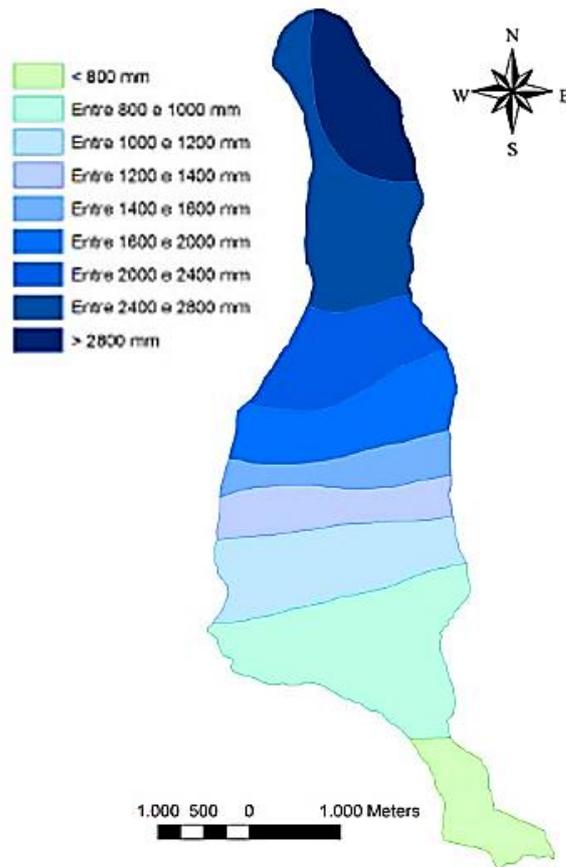


Figura 3.8: Isoietas na bacia hidrográfica da ribeira São João (Adaptado de (Teixeira, 2010))

Como se pode aferir da figura 3.8, a precipitação média anual tem uma grande variabilidade no território da bacia. A área da bacia é relativamente pequena e a precipitação varia entre o valor de 800 mm a 2800 mm. Sendo que os valores de precipitação superiores dão-se nas isoietas de maior altitude diminuindo gradualmente na direção da foz.

### 3.2.9 Tempo de concentração da bacia

O tempo de concentração,  $t_c$ , de uma bacia hidrográfica, é o tempo necessário para que uma gota de água precipitada no ponto hidráulicamente mais distante da bacia atinja a secção de referência da mesma. Segundo Villela e Matos (1975), iniciando-se a contagem dos tempos no início da chuvada e se esta chegar a toda a bacia, o tempo de concentração é o tempo necessário

para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção de referência da bacia.

O tempo de concentração pode ser obtido experimentalmente ou estimado através de fórmulas empíricas. Das inúmeras metodologias para a determinação do tempo de concentração, são expostas aqui as mais frequentemente usadas em Portugal para bacias desta natureza, (Quadro 3-6). No anexo AII, encontram-se outras metodologias presentes na bibliografia e que se aplicam a bacias com determinadas características, não se adequando às bacias estudadas.

### **Fórmula de Ven Te Chow**

$$t_{c\_Ven\ Te\ Chow} = 0.8773 \times (L_b / \sqrt{i_m})^{0.64} \quad (\text{Equação 3.12})$$

Com:

$t_{c\_Ven\ Te\ Chow}$  - tempo de concentração (h);  $L_b$  - comprimento da maior linha de água da bacia, para uma determinada secção (km);  $i_m$  - declive médio da linha de água (m/km).

Observação:

Esta expressão tem como limitação a área da bacia. É aplicável para bacias cuja área varia entre os 1,1 e os 19,0 km<sup>2</sup>.

### **Fórmula de Temez**

Temez, (1978) estudou várias bacias espanholas e propôs a seguinte equação:

$$t_{c\_Temez} = 0,3 \cdot \left( \frac{L_b}{i_m^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (\text{Equação 3.13})$$

Sendo,

$t_{c\_Temez}$  - tempo de concentração (h);  $L_b$  - comprimento do curso de água principal da bacia (km);  
 $i_m$  - declive médio da linha de água principal.

Observação:

A expressão anterior é aplicável para bacias naturais com área até 3000 km<sup>2</sup> (Mata-Lima *et al.*, 2007).

## Fórmula de Giandotti

Giandotti (1953) propôs para o tempo de concentração a seguinte equação:

$$t_{c\_Giandotti} = \frac{4 \cdot \sqrt{A_b} + 1,5 \cdot L_b}{0,80 \cdot \sqrt{h_{med}}} \quad (\text{Equação 3.14})$$

Onde,

$t_{c\_Giandotti}$  - tempo de concentração (h);  $L_b$  - comprimento do curso de água principal da bacia (km);  $A_b$  - área da bacia (km<sup>2</sup>);  $h_{med}$  - altura média da bacia (m);

Observação:

A fórmula de Giandotti deverá ser aplicada a grandes bacias hidrográficas naturais.

## Tempo de concentração médio

Para as bacias estudadas, calculou-se a média dos tempos de concentração,  $t_{c\_med}$ , anteriores para efeitos de cálculo e incluem-se no quadro a seguir.

Quadro 3-6: Tempo de concentração para as três bacias apresentadas

Tempo de concentração	Ribeira		
	São João	Santa Luzia	João Gomes
Ven Te Chow [h : m]	0 : 54	0 : 53	0 : 50
Temez [h : m]	0 : 57	0 : 54	0 : 53
Giandotti [h : m]	1 : 34	1 : 26	1 : 19
Média [h : m]	1 : 08	1 : 04	1 : 01

### 3.2.10 Tempo de resposta

O tempo de resposta da bacia diminui com o aumento do escoamento superficial, resultando num aumento do caudal de pico que, juntamente com o estrangulamento das secções e obstáculos encontrados e transportados, provocam frequentemente o transbordo das águas e detritos, originando danos mais ou menos graves.

O tempo que uma bacia leva a responder à precipitação útil, geradora de escoamento superficial e responsável pela ponta de cheia, corresponde ao tempo de resposta da bacia (Teixeira, 2010), ou seja, é o tempo que medeia entre o pico de precipitação e o pico de cheia.

É calculado pela seguinte equação:

$$t_r = 0.6 \times t_{c\_med} \quad (\text{Equação 3.15})$$

Sendo,

$t_r$  - tempo de resposta da bacia (h);  $t_{c\_med}$  - tempo de concentração médio (h).

- **Tempo de resposta da bacia da ribeira São João:**

$$t_r = 0.6 \times 1.15 = 0.69 \text{ horas} \quad (\text{Equação 3.15a})$$

Assim, o tempo de resposta da bacia de São João, calculado através da média das três teorias, é cerca de 40 minutos.

### 3.2.11 Caudal de ponta de cheia

Para o cálculo do caudal de ponta de cheia existem várias formulações, sendo que estas se dividem em três tipos - empíricas, cinemáticas e de caráter estatístico. Aqui, estima-se este parâmetro, para cada uma das bacias hidrográficas, através do método racional - fórmula cinemática. No anexo AIII, descrevem-se algumas formulações alternativas, aplicáveis mediante certas condições.

#### Método racional

Através da equação 3.16 extrai-se o valor do caudal de ponta,  $[Q_{pc}]$  em  $m^3/s$ , para o período de retorno,  $[T_r]$  em anos, considerado, que é função da intensidade média da precipitação,  $[i]$  em mm/h, da área da bacia,  $[A_b]$  em  $km^2$ , e do coeficiente de escoamento,  $[C]$ .

$$Q_{pc} = \frac{CiA_b}{3.6} \quad (\text{Equação 3.16})$$

### Coeficiente de escoamento do método racional, C

O coeficiente de escoamento depende do período de retorno considerado, tomando valores maiores para períodos de retorno maiores (Portela *et al.*, 2002). Este coeficiente é redutor, tendo a finalidade de prevenir as várias perdas de precipitação nas suas diferentes formas, sendo a infiltração a parcela mais relevante, mas não desprezando outras - a interceção e retenção superficial, assim como a evapotranspiração, e a difusão do escoamento. É, portanto, um valor dependente do tipo e ocupação do solo e do período de retorno.

O valor de C a considerar na fórmula, pode ser obtido do Quadro 3-7, retirado e adaptado de Chow *et al.*, (1988) e que se apresenta a seguir.

Quadro 3-7: Valores do coeficiente C da fórmula racional  
(adaptado de CHOW *et al.*, 1988)

Tipo de ocupação		Período de Retorno, $T_r$ [anos]							
		2	5	10	25	50	100	500	
Zona urbana	Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00	
	Betão/Telhados	0.75	0.80	0.88	0.88	0.92	0.97	1.00	
	<b>Relvados &lt;50% da área</b>								
	Declive de 0 a 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58	
	Declive de 2 a 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61	
	Declive > a 7%	0.43	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62	
	<b>Relvados de 50 a 75% da área</b>								
	Declive de 0 a 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53	
	Declive de 2 a 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58	
	Declive > a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60	
	<b>Relvados &gt; 75% da área</b>								
	Declive de 0 a 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49	
	Declive de 2 a 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56	
	Declive > a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58	
Zona não urbana	<b>Terreno cultivado</b>								
	Declive de 0 a 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57	
	Declive de 2 a 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60	
	Declive > a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61	
	<b>Pastagem</b>								
	Declive de 0 a 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53	
	Declive de 2 a 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58	
	Declive > a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60	
	<b>Floresta</b>								
	Declive de 0 a 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48	
Declive de 2 a 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56		
Declive > a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58		

Considerando que as bacias hidrográficas têm uma parcela significativa que se desenvolve em zona não urbana de floresta e tendo em conta que as estruturas implantadas se situam nesta área,

o valor do coeficiente de escoamento a considerar para o período de retorno (100 anos) é de 0.52, uma vez que o declive de cada bacia é superior a 7% (Quadro 3-7).

### Intensidade média de precipitação, $i$

A intensidade de precipitação é função da duração da precipitação e do período de retorno (Equação 3.17). A sua determinação é conseguida através da introdução de dois parâmetros,  $a$  e  $b$ , adimensionais e constantes para cada região e do período de retorno considerado.

$$i = a \times t^b \quad \text{(Equação 3.17)}$$

Com,

$i$  - intensidade de precipitação (mm/h);  $t$  - duração da precipitação (h);  $a$  e  $b$  são parâmetros adimensionais.

O binómio intensidade-duração está ligado à frequência de ocorrência da chuvada, chegando-se a um conjunto de curvas, para diferentes períodos de retorno, que se designam curvas de intensidade-duração-frequência – I-D-F. Estas curvas podem ser expressas por funções hiperbólicas ou exponenciais, o que, em Portugal o RGSPDADAR recomenda a utilização das segundas.

Matos e Silva (1986) recomenda a utilização das curvas I-D-F para precipitações com duração igual ao tempo de concentração por ser a ocorrência mais desfavorável.

No Quadro 3-8 apresenta-se os valores de  $a$  e  $b$  propostos por Matos e Silva (1986) para a RAM.

Quadro 3-8: Parâmetros,  $a$  e  $b$ , das curvas IDF de diferentes regiões (adaptado de Matos e Silva, 1986)

Período de retorno, $T_r$		2	5	10	20	50	100
Santa Catarina	<b>a</b>	193.12	228.83	248.70	265.72	285.72	299.45
	<b>b</b>	-0.517	-0.512	-0.508	-0.505	-0.502	-0.499
Porto Santo	<b>a</b>	268.17	328.67	359.72	385.91	417.06	438.66
	<b>b</b>	-0.643	-0.589	-0.560	-0.536	-0.511	-0.496

Considerando a proximidade, as ribeiras que foram objeto de estudo localizam-se no Funchal, logo os valores para  $a$  e  $b$  usados são os de Santa Catarina (Madeira), e para o período de retorno de 100 anos. Assim, os valores são 299,45 e -0,499 para  $a$  e  $b$ , respetivamente.

Para a duração da precipitação considera-se o tempo de concentração médio [ $T_{c\_med}$ ], em horas, (ver Quadro 3-9).

- **Intensidade de precipitação da bacia da ribeira São João:**

$$i = 299.45 \times 1.15^{-0.499} = 279.31 \text{ mm/h} \quad (\text{Equação 3.17a})$$

### **Caudal de ponta**

Por aplicação da equação 3.16a, extrai-se caudal de ponta de cheia para as bacias hidrográficas consideradas.

- **Caudal de ponta da bacia da ribeira São João:**

$$Q_{pc} = \frac{CiA_b}{3.6} = \frac{0.52 \times 279.31 \times 14.9}{3.6} = 603.44 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Equação 3.16a})$$

### **Caudal de ponta considerado no dimensionamento dos açudes**

Conforme se verifica em 3.2.11 e subcapítulo subsequentes, o valor do caudal assume valores muito superiores aos estimados em projeto, que ronda os 200 m<sup>3</sup>/s. A metodologia apresentada segue o método racional, como referido anteriormente. Aqui, intervém a intensidade média de precipitação que é calculada através da equação 3.17 e que no caso desta ribeira apresenta um valor significativamente grande e que serviu de referência ao dimensionamento do conjunto de açudes construídos.

Justifica-se o valor obtido para o dimensionamento de cerca de 200 m<sup>3</sup>/s por se considerar sub-bacias para cada açude, sendo a secção de referência o próprio açude e a respetiva localização onde foram implantados - troço médio superior de cada ribeira, onde se verifica maiores volumes de pluviosidade. O caudal extraído de equação 3.16a tem como secção de referência a foz.

### 3.2.12 Resumo dos parâmetros hidrológicos das bacias hidrográficas

Seguindo a metodologia acima apresentada para a ribeira São João, resume-se no Quadro 3-9 os valores para as três ribeiras do Funchal.

Quadro 3-9: Resumo das características das três bacias estudadas

Parâmetro	Un	Ribeira		
		São João	Santa Luzia	João Gomes
Área [ $A_b$ ]	km <sup>2</sup>	14.96	14.32	12.68
Perímetro [ $P_b$ ]	km	32.9	31.2	31.4
Índice de compacidade de Gravelius [ $K_C$ ]	-	2.386	2.328	2.487
Índice de alongamento [ $K_L$ ]	-	15.834	14.967	17.389
Fator de forma [ $K_F$ ]	-	0.143	0.134	0.164
Altitude média [ $Z_{med}$ ]	m	724.14	829.80	850.42
Altura média [ $h_{med}$ ]	m	724.14	829.80	850.42
Altitude máxima [ $H_{max}$ ]	m	1763.0	1787.0	1595.0
Comprimento do curso de água principal	m	12309.0	11957.0	11172.0
Comprimento do curso de água segundo uma diretriz [ $L$ ]	m	9907.2	9713.4	8549.3
Comprimento da bacia [ $C_b$ ]	m	10196.8	10279.3	8841.5
Altitude máxima do curso de água	m	1660.2	1660.0	1551.0
Declive médio do curso de água principal	-	0.135	0.139	0.139
Altura equivalente do curso de água	-	1238.1	1222.3	1378.9
Declive equivalente do curso de água	-	0.100	0.102	0.123
Declive 10-85 [ $i_{10-85}$ ]	-	0.138	0.148	0.159
Índice de relevo [ $i_{relevo}$ ]	-	0.173	0.174	0.180
Declive médio da bacia [ $i_{med}$ ]	(°)	25.05	28.07	25.00
Declive médio da bacia [ $i_{med}$ ]	%	49.65	60.07	49.80
Hierarquização de Strahler	un	5ª ordem	5ª ordem	5ª ordem
Número de cursos de água [ $n^{\circ}c.a.$ ]	un	224	258	188
Comprimento total dos cursos de água [ $L_t$ ]	km	44.61	40.31	34.70
Hierarquização de Shreve	un	224	258	188
Relação de bifurcação média [ $R_b$ ]	-	3.869	4.008	3.703
Tempo de concentração [Témez]	h:m	0:57	0:54	0:53
Tempo de concentração [Ven Te Chow]	h:m	0:54	0:53	0:50
Tempo de concentração [Giandotti]	h:m	1:34	1:26	1:19
Tempo de concentração médio [ $T_{c,med}$ ]	h:m	1:08	1:04	1:01
Tempo de resposta da bacia [ $T_r$ ]	h:m	0:41	0:38	0:36
Densidade de drenagem [ $D_d$ ]	Km/km <sup>2</sup>	2.986	2.816	2.736
Percurso médio sobre o terreno [ $\overline{P}_L$ ]	m	0.084	0.089	0.091
Densidade hídrica [ $D_h$ ]	c.a./km <sup>2</sup>	15.030	18.023	14.822
Coefficiente de torrencialidade [ $C_t$ ]	-	44.94	50.75	40.55
Índice de rugosidade [ $I_r$ ]	-	5271.40	5031.44	4363.49
Sinuosidade do curso de água [S]	-	1.242	1.231	1.308

### 3.3 Condição hidráulica

Tratando-se de ribeiras, o escoamento faz-se com superfície livre. Em cada secção do canal e para um determinado caudal corresponde uma altura da água escoada. Para estas secções deve garantir-se que a altura da água seja inferior à altura da secção, evitando-se assim que haja inundações por transbordo das margens. Numa primeira abordagem e de forma prática, admite-se que o escoamento se dá em regime permanente e uniforme (Costa *et al.*, 2011).

Admite-se, ainda, que o escoamento é puramente turbulento se a natureza do líquido a escoar for água e pode aplicar-se as leis de resistência empíricas. Nesta dissertação, atendendo ao projeto das várias obras estudadas, destaca-se, também, a formulação de Gauckler-Manning-Strickler (equação 3.18) (Quintela, 2005).

$$Q = K_s \times A \times R_h^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 3.18})$$

Com,

$Q$  - Caudal escoado ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $K_s$  - coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler ( $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ );  $R_h$  - raio hidráulico (m);  $i$  - inclinação do canal;  $A$  - secção transversal do escoamento ( $\text{m}^2$ ).

A grande quantidade de material sólido e de diâmetros apreciáveis que se encontram no leito da ribeira, que pode ser mobilizado e transportado pelo escoamento e a forma do vale conjuntamente com a localização - canal em zona de floresta e não regularizado, considerou-se um coeficiente de Manning-Strickler ( $K$ ) de  $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (Quintela, 1998 p. 254).

Para um período de retorno,  $T_r$ , de 100 anos, considerou-se em projeto um caudal líquido de cerca de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Desta forma, as condições de funcionamento das estruturas de retenção de material sólido permitiram o escoamento através das aberturas de um caudal líquido variável, que irá oscilar consoante a deposição de material sólido a jusante retido pela estrutura.

Com a albufeira dos açudes totalmente assoreada, não obstante a imposição de limpezas periódicas, os açudes devem responder eficazmente e descarregar o caudal de ponta de cheia para o período de retorno considerado, sem que se dê erosão dos seus órgãos e no próprio canal. Deste modo, foi executada a sobre-elevação dos encontros para que os caudais afluentes

sejam descarregados entre os encontros, ou seja, na zona central do açude, conforme se verifica na Figura 3.9

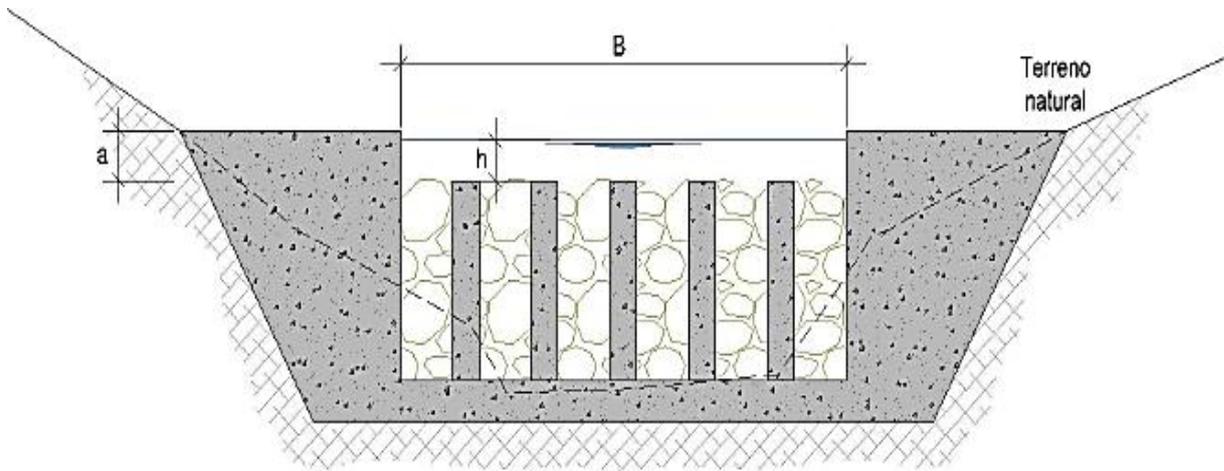


Figura 3.9: Representação esquemática do açude assoreado com descarga de caudal líquido na zona central.

Na situação limite - albufeira assoreada, o caudal escoado pode ser estimado, simplificadamente, como se se tratasse de um descarregador, através da equação seguinte:

$$Q = C\sqrt{2g}BH^{3/2} \quad (\text{Equação 3.19})$$

Com C, adimensional, o coeficiente de vazão, que foi considerado igual ao do regime crítico e igual a 0.385, B (m), a largura de descarga e H (m), a carga hidráulica.

Considerando o escoamento em regime crítico, como referido, a altura do escoamento sobre o alinhamento dos pilares, h (m), é obtida por:

$$h = \frac{H}{1,5} \quad (\text{Equação 3.20})$$

Neste cenário limite, o açude comporta-se como uma queda de água, sendo que o escoamento sobre o açude se processa em regime crítico, logo, a altura máxima do escoamento líquido junto à linha de descarga corresponde à energia crítica, isto é, uma vez e meia a altura crítica.



## **4. Registo e Inventariação.**

### **Base de Dados**

## **4.1 Considerações prévias**

O principal foco de todo este documento passa pela criação de um inventário que congregue os diversos açudes de retenção de materiais sólidos, construídos nas três principais ribeiras do concelho do Funchal. Nos capítulos anteriores procedeu-se à identificação, caracterização e enquadramento das respetivas bacias hidrográficas, assim como, alguns fatores condicionantes e que levaram a implementação de tais estruturas.

Este capítulo do trabalho é centrado na mecanização da base de dados. A materialização da mesma é conseguida através da inventariação e registo dos principais critérios para a sua elaboração. Consequentemente é apresentado o mecanismo de registo na ficha de inventariação, sendo devidamente justificada toda a informação que deverá conter.

Depois do período de pesquisa necessário e também do trabalho de campo, executou-se a inventariação dos açudes instalados no terreno que se apresenta sob a forma de fichas de inventário. Para a elaboração destas fichas, considerou-se os principais aspetos técnicos, assim como um registo fotográfico para visualização e identificação da estrutura em causa. Nestas fichas, constam ainda outras informações que se entenderam relevantes.

## **4.2 Critérios seguidos**

Os parâmetros que devem ser inseridos na elaboração de uma ficha técnica base devem ser criteriosamente selecionados com vista à sua composição individual e posterior inclusão na base de dados. Tendo em conta a referida base, torna-se imperativo a definição de alguns critérios para a sua criação. Para se estabelecer tais critérios, procedeu-se à avaliação e apreensão dos locais intervencionados, assim como os elementos a incluir nas fichas técnicas individuais, tendo como finalidade a consulta destas fichas de forma simples, rápida e prática.

Com o mesmo propósito - fácil leitura - estabeleceu-se a codificação de algumas características que se apresenta nesta explicação sob a forma de quadros e inclusão do respetivo código na ficha individual de cada açude.

Por escassez de elementos para a caracterização capaz e eficaz, não se inclui na base de dados o açude fechado existente na ribeira São João.

### 4.2.1 Dimensionamento

Existem várias estruturas de correção torrencial suscetíveis de serem implementadas nos cursos de água, nomeadamente em ribeiras e seus afluentes capazes de transportar quantidades significativas de material sólido. As estruturas mais comuns para a interceção de material sólido podem ser divididas em dois grandes grupos: Estruturas leves - barreiras de rede metálica ou com troncos de madeira (Figura 4.1) e estruturas pesadas - açudes (Figura 4.2).



Figura 4.1: Exemplos de estruturas leves. (a) - Em troncos de madeira; (b) - Em rede metálica

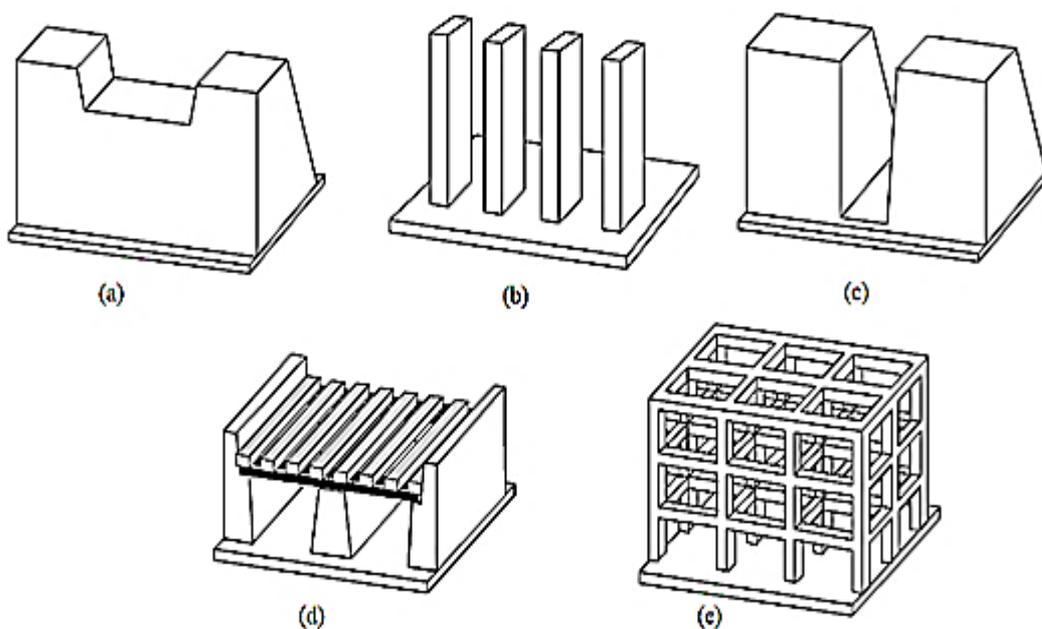


Figura 4.2: Exemplos de estruturas pesadas. (a) - Açude com uma abertura; (b) - açude com várias aberturas; (c) - açude com abertura retangular; (d) - açude com grelha de infiltração; (e) - açude em grelha (adaptado de Lien, 2003)

As características do local a implementar a estrutura vão, em grande parte, determinar o formato e configuração a implementar. Tem como principal função reter o material sólido de maior

dimensão, pese embora passando o material mas de menor dimensão, assim como o caudal líquido. A eficácia dos açudes na mitigação dos efeitos de eventos meteorológicos extremos, designadamente as aluviões, foi mostrada através de vários estudos levados a cabo por especialistas no Japão. Para além de implementados neste país, foram também construídos na Áustria, Indonésia e outros. No trabalho de Lien, (2003) é referido que o espaçamento alternado entre as aberturas do açude pode minimizar o efeito destruidor dos blocos de maior dimensão por via da sua retenção ali, deixando passar os de menor dimensão e menor efeito destruidor.

Tratando-se de açudes abertos com várias aberturas, o espaçamento entre estas é preponderante na capacidade de deter o material. Watanabe *et al.*, (1980) propõe para o espaçamento entre os elementos verticais a expressão 4.1, o qual pode reduzir o volume da aluvião em mais de 50%.

$$b < 2 \times D_{max} \quad \text{(Equação 4.1)}$$

Com,

$D_{max}$  - diâmetro máximo dos sedimentos;  $b$  - espaçamento entre aberturas do açude.

Para a solução adotada nas ribeiras do Funchal - estruturas pesadas, açudes com várias aberturas, tipo (b) da figura 4.2, foram estabelecidos como principais critérios de dimensionamento episódios de aluviões com a mesma importância da do evento de 20/02/2010 e a metodologia de Lien, (2003) que estabelece o índice de vazão de sedimentos (P) e o índice de retenção de sedimentos ( $S_T$ ) e que se resume a seguir.

$$P = \frac{V_{sb}}{V_{sa}} \quad \text{(Equação 4.2)}$$

Com,

$V_{sa}$  - Volume de sedimentos no fluxo antes da passagem pelo açude;  $V_{sb}$  - Volume de sedimentos no fluxo após passagem pelo açude.

$$S_T = \frac{V_{sa} - V_{sb}}{V_{max}} \quad \text{(Equação 4.3)}$$

Com,

$V_{max}$  - Volume de retenção máxima no açude.

$$S_T = \frac{4.39 (V_{sa}/V_{max})^{0.506} (1 - \sum b/B) C_a^{0.808}}{(b/D_{max})^{0.207}} \quad \text{(Equação 4.4)}$$

Válida para,

$$\frac{b}{D_{max}} = 0.90 \sim 5.6 \quad \text{(Equação 4.4a)}$$

e

$$\sum b/B = 0.45 \sim 0.85 \quad \text{(Equação 4.4b)}$$

e

$$C_a = \frac{\rho \tan \theta}{(\rho_s - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \text{(Equação 4.4c)}$$

Em que,

$B$  - largura do vale;  $C_a$  - Concentração de sedimentos em equilíbrio na parte frontal do açude (proposto por Takahashi (1991));  $\rho$  - peso volúmico da água;  $\rho_s$  - peso volúmico dos sedimentos;  $\theta$  - inclinação do leito;  $\phi$  - angulo de atrito interno.

Importa ainda referir que nas ribeiras de Santa Luzia e João Gomes existe a possibilidade de adaptar as aberturas em função do diâmetro das partículas afluentes incorporando barras de aço a diferentes alturas, conforme exposto na Figura 4.3 apresentada seguidamente.

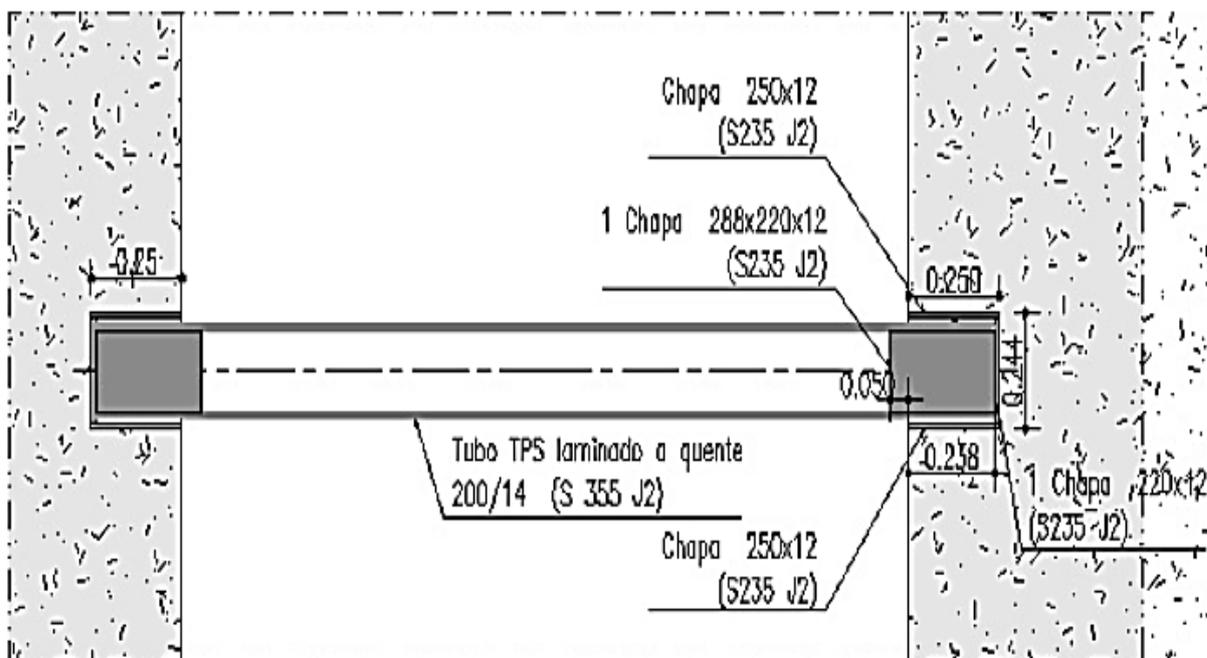


Figura 4.3: Pormenor da fixação de barras de aço transversais nas ranhuras existentes nos pilares

#### 4.2.2 Soluções implementadas – discretização

A solução adotada nas três ribeiras estudadas passou por açudes com várias aberturas construídos em betão. A fim de inventariar estas estruturas, compila-se e organiza-se as suas componentes e características, assim como outros aspetos que se entendem relevantes, em fichas individuais para cada obra.

Para a colocação na ficha o tipo de cada açude, estabeleceu-se a codificação deste, utilizando para o efeito uma sigla que permita diferenciar cada tipo de solução, mostrando-se no Quadro 4-1 os principais modelos para implementação em cursos de água com a natureza dos aqui apresentados, não obstante existirem pequenas variantes a estes mas com os mesmos princípios.

Quadro 4-1: Tipo de estruturas de correção torrencial

<b>Tipos de Açudes</b>	<b>Código</b>
Açude com Uma Abertura	AUA
Açude com Várias Aberturas	AVA
Açude com Abertura Vertical	AAV
Açude com Grelha de Infiltração	AGI
Açude em Grelha	AG

Para a classe, entendeu-se que seria oportuno a sua divisão nos dois grandes grupos - retenção e controlo de escoamento misto, que são os açudes de retenção de material sólido, e os açudes de retenção de caudal líquido. No Quadro 4-2, apresenta-se a codificação da referida classe.

Quadro 4-2: Classe de retenção dos açudes

<b>Classe</b>	<b>Código</b>
Retenção de sólidos	RS
Retenção de água	RA

Relativamente à monitorização de caudais, as estruturas são munidas de equipamentos que fazem tal monitorização 24 horas por dia e em tempo real. Trata-se de um programa moderno implementado e gerido pelo LREC, com a designação de “Monitorizaribeiras - Monitorização

Automática de Ribeiras para Prevenção de Risco de Aluviões na RAM”. Os componentes efetivamente instalados nos açudes são as câmaras de vídeo. A curto prazo, prevê-se a colocação de sismógrafos de alarme nos primeiros açudes (do lado da nascente) de cada ribeira.

Por forma a simplificar a inclusão na ficha técnica da informação referida no parágrafo anterior, executou-se o Quadro 4-3 com os elementos de monitorização - codificado através de siglas, do referido programa e onde se inclui os equipamentos instalados e a instalar nos açudes.

Quadro 4-3: Equipamentos do “Monitorizaribeiras”

<b>Equipamentos de monitorização</b>	<b>Código</b>
Câmaras de vídeo	CV
Sensores de nível com tecnologia radar	SNTR
Sensores de nível ultrassónicos	SNU
Sismógrafos de alarme	SA
Udógrafos de alarme	UA

### 4.2.3 Ficha modelo

A Ficha Técnica (FT) da estrutura é um documento descritivo das principais características técnicas e funcionais, reportadas ao momento da conclusão das obras de construção ou em fases posteriores, levando em conta alterações ou reconstruções ali efetuadas.

Neste caso, elaborou-se a FT após a conclusão e entrada em serviço das obras, no entanto, não houve lugar a alterações ou reconstruções. Para a realização das mesmas fichas houve um período de pesquisa longo de forma a otimizar o documento identificativo proposto. A versão final que se apresenta inclui múltiplos aspetos e características de cada caso em estudo, sendo certo que, possam surgir alterações quando as obras forem sujeitas por eventos meteorológicos rigorosos e devam ser registados nas mesmas fichas.

Deste modo, distingue-se três partes na elaboração das FT de cada açude. A parte I tem um cariz introdutório, onde se apresenta uma visão geral da própria obra. Na parte II, a informação

a inserir trata dos aspetos técnicos da obra, e finalmente, a parte III destina-se às imagens e registo fotográfico previamente recolhido.

Na parte I da FT (Figura 4.4), encontra-se a designação da empreitada que deu lugar às várias estruturas que a compõe, assim como a identificação e localização das mesmas estruturas. Ainda com o objetivo de auxiliar e visualizar o açude a que diz respeito a FT, coloca-se uma imagem deste nesta parte. Seguidamente, faz-se uma descrição sumária dos principais órgãos que compõe o açude retratado, assim como alguns aspetos gerais do mesmo. Por fim, nesta parte existe um campo reservado para a indicação das entidades consultadas para auxiliar o preenchimento da FT em questão.

Na parte II da FT (Figura 4.5) inclui-se várias categorias de informação, iniciando-se com os elementos relativos à entidade promotora e executante do projeto, e ainda uma estimativa dos custos e duração da obra.

Segue-se um segmento da ficha relativo às características gerais, onde se inserem o tipo e classe de forma codificada da solução, com correspondência aos quadros 4.1 e 4.2. Inclui-se também algumas cotas, comprimentos, distância entre os elementos verticais e seu número, capacidade e diâmetros dos sedimentos a reter na albufeira de cada açude e o caudal de projeto.

Nesta parte, revelou-se oportuno a divisão da estrutura nos seus elementos principais, ou seja, fundação, encontros e pilares, com a finalidade de discretizar a estrutura com mais rigor.

No campo da fundação inclui-se o tipo e as características geométricas dos seus elementos assim como o enrocamento da mesma. Relativamente aos encontros, apresenta-se também as suas características geométricas - largura, altura e comprimento. Neste elemento da estrutura encontram-se os equipamentos de monitorização de caudais. Finalmente, os campos relativos aos pilares são completados com a descrição do tipo de secção, cota da base, altura, espessura e número de unidades.

Nesta parte da ficha também se junta uma secção relativa aos materiais empregues nos principais elementos da estrutura referidos no parágrafo anterior.

A parte III - registo fotográfico (Figura 4.6), é reservada para a exposição das imagens e fotos que se acharam pertinentes para uma completa apreensão das estruturas individuais.

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA		
Designação da Empreitada				
Identificação da Estrutura				
Localização	Concelho			
	Coordenadas	Latitude		Cota
		Longitude		
<b>Imagem do Local</b>				
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>				
Entidades Consultadas				

Figura 4.4: Ficha técnica modelo, Parte I

<b>Entidade Promotora</b>						
<b>Entidade Executante</b>						
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>			<b>Classe</b>			
<b>Distância à foz [km]</b>			<b>Cota Soleira [m]</b>			
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>			<b>D<sub>max</sub> [m]</b>			
<b>Comprimento Transversal [m]</b>			<b>Cota Coroamento [m]</b>			
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>			<b>Número de aberturas [Un]</b>			
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>						
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades [un]</b>	<b>Cota da Base [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Espessura [m]</b>
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração</b>			
	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Encontros</b>						
<b>Fundação</b>						
<b>Executado por:</b>			<b>Data:</b> _____			

Figura 4.5: Ficha técnica modelo, Parte II

<b>Açude A...- Registo Fotográfico</b>
Figura A...
Figura A...

Figura 4.6: Ficha técnica modelo, Parte III

### **4.3 Considerações finais**

A base de dados devidamente preenchida e completa pode ser consultada no anexo IV, através das fichas individuais materializadas para o efeito.

Futuramente, a consulta da base de dados agora criada carece de uma vistoria ao local no sentido de avaliar o comportamento de cada estrutura ao longo do tempo, visto que as condições de projeto, designadamente a magnitude do evento meteorológico de referência - aluvião de 20 de fevereiro de 2010, não se verificaram até à data da criação desta base de dados. Importa averiguar este parâmetro para, eventualmente reajustar o plano de manutenção e reparação.

No que concerne à construção desta base de dados e à sua utilidade, quer em termos profissionais, quer em termos académicos, deve ser entendida como uma fonte de informação sobre as estruturas de correção torrencial presentes nas três principais ribeiras do Funchal, sendo apresentadas sob a forma de compilação num único documento e que posteriormente pode servir como referência para outras ribeiras problemáticas em outros locais da RAM.

## **5. Apresentação de Resultados e Análise Comparativa. Recomendações e Conclusões Finais**

## 5.1 Apresentação de resultados e análise comparativa

Por forma a sistematizar a apresentação de resultados, entendeu-se pertinente a separação nos dois itens principais, que deram sentido à presente dissertação. Assim, explanam-se os resultados obtidos para as bacias hidrográficas e seguidamente para as estruturas de correção e controlo torrencial - açudes.

- **Bacias hidrográficas**

As três ribeiras do Funchal estudadas foram alvo de intervenção em quase toda a sua extensão. Enquanto que, nas zonas baixas realizaram-se obras de melhoramento e recuperação, nos trechos médios-superiores a intervenção passou pela limpeza e principalmente pela construção de obras de controlo e correção torrencial - açudes, que constituem o principal elemento desta dissertação.

As três ribeiras, bem como os seus afluentes, podem classificar-se como tendo um regime do tipo pluvial, permanente, embora nos tributários com menos importância esse regime seja intermitente. As cheias com origem nestas ribeiras e seus afluentes têm velocidade de propagação rápidas, como observado na aluvião de referência (20/02/2010). Cheias estas com grandes quantidades de detritos, com granulometria extensa, sendo que os blocos maiores podem atingir dimensões consideráveis.

Todas as bacias são consideradas pequenas, tendo todas elas a área inferior a 25 km<sup>2</sup>. São bacias alongadas, visto que o índice de alongamento é muito superior a 2 e em que o fator de forma assume valores muito baixos, sendo de 0.143 para a ribeira São João, 0.134 para a ribeira de Santa Luzia e 0.164 para a ribeira João Gomes. Os valores do coeficiente de compacidade (ou índice de *Gravelius*) calculados vêm corroborar o alongamento das bacias. Sendo estes índices indicadores da propensão das bacias para cheias repentinas, verifica-se que essa propensão é menor, dado que as bacias se afastam da forma circular. No entanto, é necessária a sua conjugação com outros fatores, que pela sua natureza vêm influenciar decisivamente nesta apreciação. Como fatores principais, temos o relevo e seus declives. Para o declive médio das bacias (Figura 5.1a), os valores situam-se próximos dos 50%, sendo que a de Santa Luzia atinge 60%.

Influenciados diretamente pelas condições morfométricas, estão os tempos de concentração e de resposta das respectivas bacias. De entre muitas metodologias para o cálculo do tempo de concentração, utilizou-se as três que mais se adequam a este tipo de bacias, contudo por forma a evitar discrepâncias optou-se pelo tempo médio das três. Na (Figura 5.1b), mostra-se de forma gráfica, os tempos referidos acima. Relativamente ao tempo de resposta, corresponde a 60% do tempo de concentração, sendo que para as três bacias, o valor médio ronda os 40 minutos.

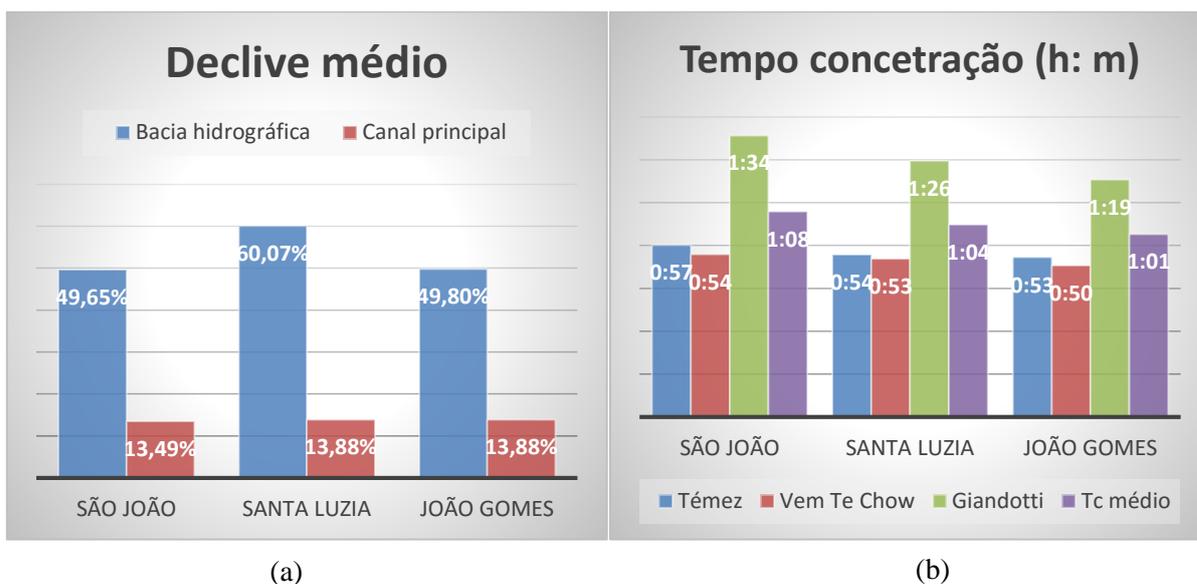


Figura 5.1: (a) - Declive médio das bacias. (b) - Tempo de concentração das bacias

O caudal de ponta de cheia foi calculado pelo método racional para um tempo de retorno de 100 anos. Para este caudal, apresenta-se no quadro 5-1 os valores para as secções de referência para cada açude na respetiva ribeira e na última linha, a percentagem do caudal relativamente à foz (relação entre caudal de ponta na secção do açude e na secção da foz).

Quadro 5-1: Caudal de ponta de cheia para as secções de referência

Caudal de ponta de cheia, $Q_{pc}$ [ $m^3/s$ ]											
Ribeira São João				Ribeira Santa Luzia				Ribeira João Gomes			
A5	A6	A7	A8	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
200	210	210	210	200	200	200	200	200	200	200	200
33.1%	34.8%	34.8%	34.8%	33.5%	33.5%	33.5%	33.5%	36.9%	36.9%	36.9%	36.9%

A indicação do número de cursos de água dá origem à densidade hídrica. Para estas ribeiras, a densidade hídrica foi de 15.03 para São João, 18.02 para Santa Luzia e 14.82 para a ribeira de

João Gomes. O coeficiente de torrencialidade, para a mesma sequência é de 44.94, 50.72 e 40.55, indicando a torrencialidade do escoamento, que assume valores significativos.

A sinuosidade das ribeiras tem valores relativamente baixos, o que indica pouca sinuosidade, no entanto, em todas as ribeiras existem troços onde este valor é muito alto, razão pela qual, estes devem ser alvos de atenção e monitorização.

- **Açudes**

Para a definição dos açudes foi tido em conta os efeitos da aluvião de 2010, o EARAM, estudos feitos nalguns países, em especial no Japão, China, Taiwan e Áustria e a metodologia desenvolvida em Lien (2003), apoiada em outra bibliografia especializada.

Com efeito, o volume de material sólido constatado e a controlar nas ribeiras e a sua distribuição geográfica, determinou a colocação de quatro açudes em cascata, com o comportamento de um crivo, sendo que as aberturas do conjunto apertam de montante para jusante. Para se estabelecer o número e as dimensões dos açudes tiveram-se em conta os fatores técnicos e económicos, principalmente, as condições apresentadas pelas ribeiras e a análise custo-eficácia/benefício tendo em conta o volume e dimensão dos sólidos a reter.

Para o espaçamento entre os elementos verticais foi, igualmente, tomado em conta a dimensão dos blocos afluentes ao açude. Segundo Lien (2003) para valores de  $b/D_{max} < 2$ , consegue-se uma redução de pelo menos 50% do caudal máximo de torrente (Figura 5.2). Grande parte da bibliografia da especialidade remete para valores entre 1.5 e 2 para esta relação, sendo ainda admissível valores de 1 a 5. Efetivamente, para estes açudes, a relação foi:  $b/D_{max} < 2$ .

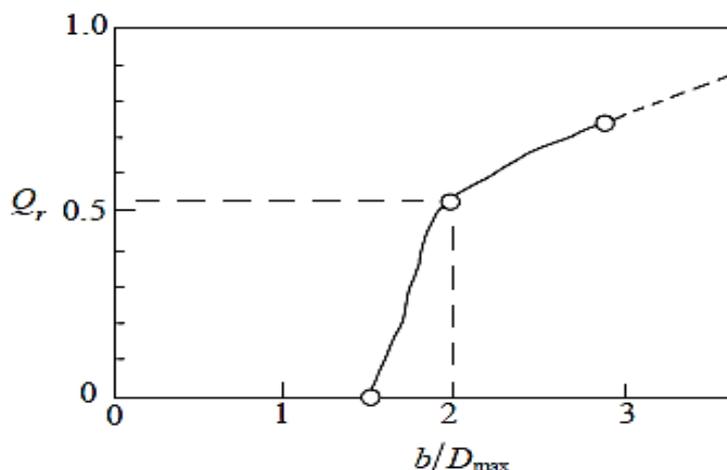


Figura 5.2: Diminuição de descarga de sedimentos,  $Q_r$  (adaptado de Lien, 2003)

A eficiência de cada açude (Figura 5.3) é dada através da relação entre a quantidade estimada de material sólido retida na albufeira e a quantidade desse material ali afluyente. Para a ribeira de Santa Luzia observa-se valores de eficiência nos dois 1ºs açudes próximos dos 20%, sendo que no terceiro esse valor chega a 34 % e para o quarto ronda os 25%. Não obstante estes valores, a eficiência pode chegar a valores muito maiores em função da diminuição das aberturas por introdução de barras de aço a diferentes alturas nas ranhuras existente para o efeito, na fase de exploração, conforme descrito nas respetivas fichas de inventário.

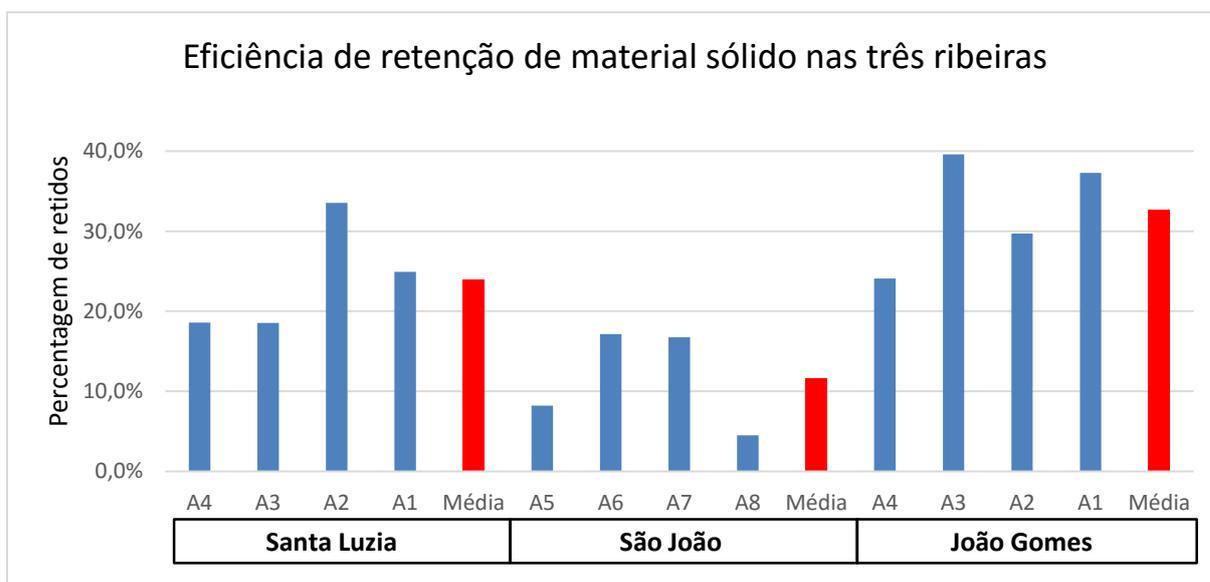


Figura 5.3: Eficiência dos açudes construídos nas três ribeiras do Funchal

Para a ribeira São João a eficiência apresenta valores mais modestos. Tal deve-se ao facto de a linha de água onde se construíram os açudes ser maior transversalmente que as duas outras ribeiras e o próprio vale ser menos encaixado, apresentando neste troço a forma de U. Contribui também a localização das estruturas, onde a capacidade de retenção fica limitada, e ainda a dimensão das aberturas. O açude mais a montante possui aberturas de 3.7 metros travando apenas os blocos maiores, enquanto o mais a jusante, apesar de ter aberturas de 1,0 metros, tem uma albufeira pequena e os açudes imediatamente a montante retêm quantidades apreciáveis de sedimentos ali afluentes.

Na ribeira de João Gomes, a eficiência das várias estruturas é significativa, sendo o açude A3 o mais eficiente, retendo cerca de 40% do material afluyente. Nesta ribeira, assim como na de

Santa Luzia, a eficiência pode ainda subir com a introdução de barras de aço nas ranhuras existentes nos pilares.

A eficiência média para cada ribeira é de 23.9%, 11.6% e 32.7% para as ribeiras de Santa Luzia, São João e João Gomes, respetivamente, podendo ser aumentada nas ribeiras de João Gomes e Santa Luzia, conforme descrito anteriormente.

As estruturas construídas apresentam condições de fundação diferentes. Na ribeira São João esta é apoiada em estacas devido ao depósito aluvionar apresentar espessuras apreciáveis, na ordem dos 20.0 metros. Nas outras duas ribeiras a fundação apoia-se num maciço rochoso, dispensando estacas, sendo portanto uma fundação direta.

Também para os pilares a geometria é idêntica para as ribeiras de Santa Luzia e João Gomes, apresenta uma geometria trapezoidal modificada. Na ribeira São João, a forma dos pilares é retangular, mas chanfrada em círculo a montante e protegida com chapas metálicas.

Os principais materiais empregues nestas obras, para a ribeira São João foi o C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 para os elementos de betão armado e C16/20 X0 Cl 1,0 para regularização, sendo que o aço foi o A500NR SD (em varão) e aço S275 (em perfis metálicos). Para as outras duas ribeiras, foi empregue na estrutura central e encontros em L, o C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m<sup>3</sup> de betão, o aço foi o A500NR.

## **5.2 Medidas estruturais e não estruturais complementares**

As obras de mitigação de cheias contribuem para o controlo do volume de água afluente à linha principal de encaminhamento, permitem o controlo da evolução morfológica do curso de água, permite ainda uma redução do transporte do caudal sólido e previne a erosão das margens e leito do curso de água.

Afiguram-se de relevância maior as questões relacionadas com a erosão, uma vez que esta, no sentido estrito, pode ser entendida como a desagregação e o transporte de material sólido proveniente dos solos e rochas da litosfera e que são levados para além da fronteira considerada. Para minimizar este fator, e consequentemente os expostos anteriormente, apresentam-se, seguidamente, algumas medidas estruturais e não estruturais, como complementos às já implementadas. No entanto, torna-se necessária a ponderação da utilização deste tipo de

solução, tendo em conta que pode causar impacto ambiental significativo como também influenciar os custos da sua construção e manutenção.

### **5.2.1 Medidas não estruturais**

Como principais medidas não estruturais encontram-se a reparação e restituição da vegetação nas bacias hidrográficas, principalmente nas zonas adjacentes à rede hidrográfica, o controlo da exposição ao risco, através da criação de uma carta de risco, onde se encontre devidamente cartografadas as áreas mais vulneráveis e a criação de sistemas de previsão. A formação e informação ao público, também podem ser encaradas como medidas não estruturais e com extrema relevância para a implementação da segurança.

### **5.2.2 Medidas estruturais (Colombo *et al.*, 2002)**

De entre muitas medidas estruturais suscetíveis de serem implementadas para a mitigação dos efeitos das aluviões, destacam-se as estruturas de proteção transversal e de proteção longitudinal. A seguir exemplificam-se algumas destas estruturas.

#### **Barragens**

As barragens com enquadramento neste tipo de vales podem ser de gabiões, de pedra cimentada, de madeira e pedras e barragens parede.

As barragens de gabiões (Figura 5.4a) são constituídas por caixas em rede metálica, preenchidas por pedras com dimensões pequenas. Podem ser adotadas ao longo da rede. O impacto ambiental é reduzido, pois permite que a vegetação se desenvolva.

As barragens de pedra cimentada (Figura 5.4b) podem ter dimensões consideráveis por apresentar grande rigidez e robustez. Adaptam-se às diferentes condições morfológicas do canal e hidrodinâmicas do escoamento.

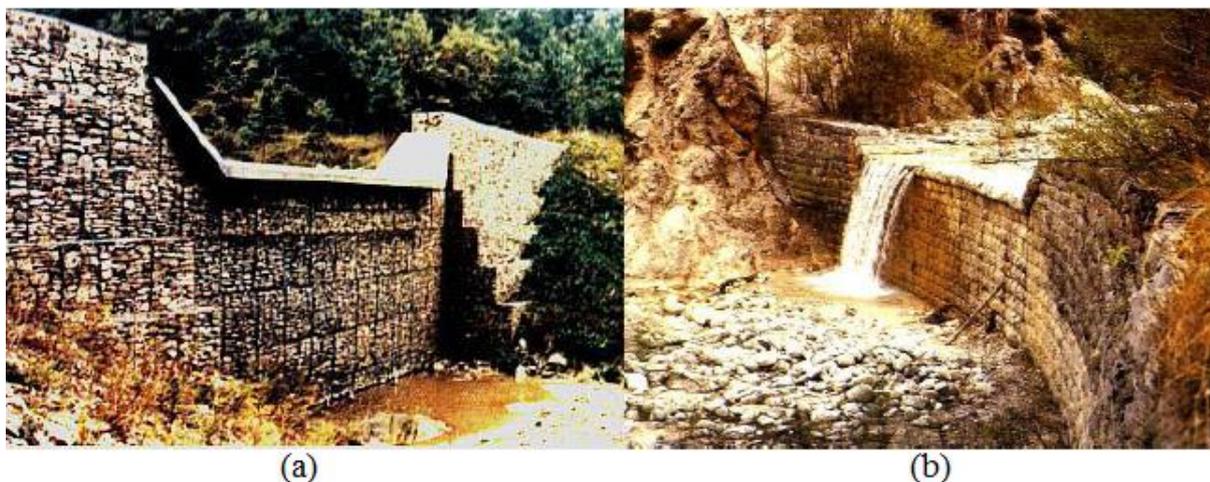


Figura 5.4: (a) - Barragem de gabiões. (b) - Barragem de pedra cimentada

As barragens de pedra e madeira (Figura 5.5a) resistem à água e em geral, são inferiores a 2.0 metros de altura. Têm impacto ambiental baixo e são recomendadas para afluente da rede hidrográfica ou para as zonas mais altas da linha principal por ser de baixo fluxo de água.

As barragens parede (Figura 5.5b) são formadas por pedras de grandes dimensões, arrumadas em forma de parede com alturas não superiores a 2.0 metros. São recomendadas para afluentes da rede hidrográfica ou para as zonas mais altas da linha principal por ser de baixo fluxo de água e têm impacto ambiental baixo.



Figura 5.5: (a) - Barragem de pedra e madeira. (b) - Barragem parede

### Soleiras Transversais

A implementação de soleiras tem a finalidade de dissipar a energia do caudal líquido, diminuindo assim a erosão do leito do canal. Podem ser construídas em betão, pedra, gabiões

ou madeira, no entanto, a utilização do betão é desaconselhada a favor dos materiais naturais por estes causarem menor impacto ambiental e ter maior equilíbrio no ecossistema.

As soleiras transversais ou travessões são usadas em cursos de água de montanha e têm como principal função controlar a erosão do fundo e das margens do canal e evitam deposições generalizadas de material sólido a jusante (Cardoso, 1998). Ainda atuam como controladores do escoamento líquido, o que se torna eficiente até determinada altura do escoamento.

### **Esporões**

Os esporões são pequenos diques executados junto à margem do extradorso do canal construídos em troços com declive baixo. São feitos para minimizar a erosão localizada, dissipar a energia e recriar a sinuosidade natural do curso de água. O material retido nos esporões apresenta a vantagem de criar bancos naturais que protegem as zonas para jusante.

O número de esporões a executar dependem do seu comprimento, das características hidráulicas do escoamento e da quantidade estimada de detritos transportados. Em geral, estas estruturas estão parcialmente ou totalmente submersas, o que produz impacto ambiental baixo. De entre as várias variantes, apresentam-se através das (Figura 5.6a) e (Figura 5.6b) esporões de betão ou de pedras cimentadas e naturais.



Figura 5.6: (a) - Esporões de betão ou de pedras cimentadas. (b) - Esporões naturais

## **Revestimento do Canal**

A proteção do canal de escoamento contra a erosão do seu leito pode ser conseguida através do revestimento do canal. A esta regularização está associado um acréscimo da vazão garantindo o transporte de sedimentos, evitando assim o assoreamento de material sólido. Este tipo de execução é recomendado para zonas urbanas e locais sujeitos a fluxos torrenciais. Tem grande impacto ambiental, que pode ser atenuado com o tipo de materiais empregues na sua construção. Alternativamente ao betão, pode ser utilizado madeira, pedras e/ou gabiões.

## **Muros de Canalização**

Os muros de canalização (Figura 5.7 a e b) são construídos para proteção longitudinal da linha de água principal e em casos pontuais no encabeçamento de afluente a esta. Em geral, a construção destes muros é indicada para as zonas médias-baixas da bacia hidrográfica onde, tendencialmente se concentram as populações. Como principal função destas obras, temos a proteção das margens e minimização do transbordo do canal. Outras funções podem ser o desvio de água para fins múltiplos, como por exemplo, a correção e regularização de trechos problemáticos do canal, aproveitamento hidroelétrico e fins agrícolas.

Tem um impacto ambiental significativo nas zonas superiores porque alteram o curso natural e conseqüentemente a sua sinuosidade. Também dificultam o desenvolvimento da vegetação através da própria estrutura, sendo que esta dificuldade de desenvolvimento pode ser atenuado com a introdução de materiais naturais. Alternativamente, nestas zonas, podem ser introduzidos muros em “pedra seca” (Figura 5.7 b) ou pequenos esporões, como apresentados anteriormente.

Relativamente aos materiais, necessariamente terão que ser empregues o betão, pedras cimentadas (Figura 5.7a) ou tijolos de cimento nas zonas urbanas, provocando baixo impacto. Nas zonas médias-altas é recomendada, tanto quanto possível, a utilização de materiais naturais.



Figura 5.7: (a) - Muros em pedra cimentada. (b) - Muro em pedra

### 5.3 Conclusões finais

As estruturas de contenção de caudal sólido, nomeadamente de torrentes de blocos, têm sido objeto de muita investigação e de vários estudos nas últimas décadas, tendo sido feitos vários ensaios experimentais em modelo reduzido e alguns à escala real (watanabe *et al.*,1980), (Lien, 2003). As soluções implementadas no passado, para as linhas principais eram construídas em betão e na maioria dos casos tinham utilidade deficitária, devido ao seu perfil tipo e por serem obras pequenas, em geral, e com capacidade de armazenamento reduzido, acabavam colmatadas por sedimentos finos durante as cheias, mesmo com períodos de retorno baixos.

Hoje em dia, as soluções mais utilizadas para este fim e que reúnem mais consenso entre os investigadores são as barragens descontínuas com aberturas, que podem ser materializadas de várias formas e que permitem a passagem do escoamento, portanto sem controlo do caudal líquido, e blocos até diâmetros pré-estabelecidos e retendo os blocos de dimensão superior. Habitualmente são construídos em cascata e com aberturas maiores a montante. Na sua exploração, um aspeto determinante para o bom funcionamento é a limpeza regular das respetivas albufeiras.

Para a concretização e implantação das estruturas de retenção de material sólido torna-se premente, na fase preliminar, as visitas de reconhecimento às áreas de intervenção para a

aferição das características e condicionamentos físicos, da geomorfologia e das condições hidráulicas.

Com efeito, após várias aluviões que assolaram a RAM, em particular a que ocorreu a 20/02/2010 e que fustigou a costa sul da ilha, onde se localizam as ribeiras alvo de estudo neste trabalho e onde está concentrada a maior parte da população residente, levou as entidades oficiais a um estudo rigoroso sobre as bacias hidrográficas mais afetadas. Este estudo foi realizado para cinco ribeiras da vertente sul da ilha: ribeira da Tabua, ribeira da Ribeira Brava, ribeira São João, ribeira de Santa Luzia e ribeira de João Gomes e foi executado pelo consórcio constituído pela UMa, LREC e IST e culminou no EARAM.

O estudo supra referido teve como propósito avaliar e caracterizar os riscos inerentes a eventos meteorológicos propiciadores deste tipo de cheias repentinas. Estabelecer, também, os princípios orientadores que devem nortear as intervenções para defesa contra os seus efeitos e adquirir elementos que permitam justificar os investimentos na proteção das populações e infraestruturas.

O EARAM foi elemento chave para a decisão de construir os açudes nas três ribeiras do Funchal e preconiza outras correções ao longo das principais linhas de água e na respetiva bacia hidrográfica.

O período de retorno considerado foi de 100 anos. Para este valor foi tido em conta a dimensão dos açudes de retenção de sedimentos e os riscos associados ao transbordamento das ribeiras, principalmente no tecido urbano do Funchal.

Para a conceção geral das estruturas foi feita a análise das características e dos condicionantes físicos, geomorfológicos e hidráulicos das bacias e o dimensionamento das aberturas levou em conta a metodologia exposta por Lien (2003) e o facto de se prever o conjunto de quatro açudes em cascata, tendo em conta que este dimensionamento é integrado e tem em conta o efeito do conjunto.

A solução encontrada para as três ribeiras foi igual, isto é, a construção de soluções descontínuas tipo pilar. Na base dos pilares encontra-se uma viga de encabeçamento, que no caso das ribeiras de Santa Luzia e João Gomes serve de fundação, visto esta ser direta. Na ribeira São João encabeça as estacas de fundação e os pilares.

Para o tempo de retorno considerado, as soluções construídas são, efetivamente uma mais-valia para a segurança que se propõe alcançar, desde que se assegure a manutenção prevista em projeto, como sendo as limpezas periódicas e sempre que se exijam, através dos acessos que se incluem nos vários açudes.

Não obstante a solução para as três ribeiras ser igual, verificam-se algumas variantes na sua construção ao nível dos elementos verticais.

Deste modo, para as ribeiras de Santa Luzia e João Gomes foram construídos pilares de secção trapezoidal modificada, variando portanto a sua secção em altura. No que concerne às aberturas, foram calculadas conforme a metodologia apresentada em 4.2.1, sendo possível a diminuição das mesmas aberturas com a introdução de barras de aço colocadas a diferentes alturas adequando as dimensões das aberturas às condições de retenção de material sólido efetivamente observadas e monitorizadas.

Na ribeira São João, estes elementos têm secção igual em toda a sua altura, chanfrados em círculo a montante e protegidos com chapas metálicas para absorção da força de impacto, protegendo assim a estrutura do elemento em betão armado. Para as outras duas ribeiras, a própria configuração do elemento dissipa esta força.

Nas últimas décadas, investiu-se em várias medidas nas linhas de água da RAM, nomeadamente a sua canalização no seio urbano, a inclusão de travessões em vários troços, desassoreamento de secções consideradas críticas, entre outras, com o propósito de regularizar estas mesmas linhas de água. Nos tempos mais recentes, e consequência de intempéries severas, o investimento foi aumentando consideravelmente, reforçando a segurança das populações e seus bens. Após a aluvião de 20/02/2010, este investimento tornou-se mais volumoso com a construção dos açudes situação retratada nesta dissertação e nas fichas de inventário colocadas no anexo IV.

A presente dissertação focaliza-se no estudo dos açudes implementados nas três principais ribeiras do Funchal, os mesmos, foram identificados e analisados, num total de 12 açudes, perspetivando-se a implementação em outras ribeiras da RAM.

A base de dados criada pretende ser uma coletânea de informação sobre os açudes com aplicação em zonas criteriosamente selecionadas, construídos nas ribeiras mencionadas. Nesse sentido, surgiu a necessidade de desenvolver uma ficha de inventário, por forma a possibilitar uma descrição simples dos diversos casos alvos deste estudo.

## **5.4 Recomendações e desenvolvimentos futuros**

### **5.4.1 Recomendações**

A grande altitude média da ilha com orografia acentuada, associada à elevada pluviosidade nas zonas de maior cota, confere ao agente exógeno, água, uma grande capacidade modeladora do relevo. Assim, para complementar as obras instaladas nas ribeiras e estudadas aqui, apresentam-se algumas sugestões em função dos resultados obtidos e da análise do projeto.

Este contexto inicia-se pela necessária manutenção das várias estruturas e seus componentes. Também pelas limpezas e desassoreamento das respetivas albufeiras de retenção de sólidos, e não menos importante, a garantia de acesso às mesmas. Aliás, este aspeto foi previsto nos vários projetos. Na ribeira de São João com um caminho na margem direita e que sobe à cota de coroamento do açude, garantindo o funcionamento deste. Nas ribeiras de Santa Luzia e João Gomes o acesso aos açudes de montante é efetuado pelo interior dos vários açudes.

Não obstante a sinuosidade das três ribeiras apresentar valores relativamente baixos, existem trechos em que este parâmetro assume valores consideráveis, o que leva a grande erosão no extradorso das curvas do leito. Aqui, como sugestão, poderão ser construídos esporões, como apresentados na Figura 5.6a, alternativamente, a opção pode passar pela construção de um muro de canalização.

Relativamente aos afluentes, a implementação de estruturas de retenção ligeiras será uma forma complementar e de diminuição de detritos ao canal e aos próprios açudes.

Outra forma preventiva passa pela promoção do coberto vegetal que, para além de reter grandes quantidades de água, retém as massas sólidas evitando o movimento e deslizamento destas.

A inventariação das zonas suscetíveis de deslizamentos e ocupação do leito de cheia, através de levantamentos e elaboração de cartas de risco será de grande importância para a prevenção e segurança em caso de cheias.

Por fim, os sistemas de alerta complementados com informação e formação das populações e sensibilização para o perigo.

## **5.4.2 Desenvolvimentos futuros**

Cumpridos os objetivos inicialmente propostos para a elaboração desta dissertação, entende-se que existe algo a aperfeiçoar e a registar para melhorar futuramente a base de dados agora criada em modelo de fichas técnicas.

A referida base de dados encontra-se o mais completa possível nesta fase, no entanto carece de tempo para o seu alargamento visto a exploração das estruturas executadas ser ainda muito precoce, na medida em que, ainda não foram posta “à prova” por eventos meteorológicos rigorosos como aquele que originou a decisão de construir tais estruturas. Neste contexto, torna-se evidente a aferição do comportamento das obras aos vários níveis, de modo a introduzir novos elementos que possam surgir quando assim seja exigido de forma a complementar a informação agora inserida nas fichas ora produzidas.

Outra abordagem a desenvolver, passa pela extensão da base de dados de novos açudes a construir nestas ribeiras ou noutras da RAM.

Entende-se também que o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação pode ser um pressuposto para a informatização da base de dados desenvolvida, tomando-a como referência, isto é, uma mais-valia, para intervenções ao nível da necessária manutenção e para o conhecimento, visto ser uma área pouco explorada e com dados essencialmente empíricos.



# **Referências Bibliográficas**



### **Web sites**

<https://plus.google.com/111008132778573987515/posts/Pp2gLHnnmPC>. [Online] [Citação: 25 de 11 de 2014.]

<http://www.lcwconsult.com/pt/projectos/projectos-hidraulica/>. [Online] [Citação: 20 de 5 de 2015.]

<http://www.cm-funchal.pt/>. [Online] [Citação: 20 de 3 de 2014.]

<http://www.meteopt.com/forum/topico/temporal-tragico-na-madeira-20-de-fevereiro>. [Online] [Citação: 6 de 11 de 2014.]

<http://www.islamadeira.es/mapas-de-madeira/> [consultado em 20/2/2015]. [Online] [Citação: 2015 de 2 de 20.]

[http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\\_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub\\_boui=156661814&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=156661814&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554). [Online] [Citação: 25 de 11 de 2014.]

(<http://www.islamadeira.es/mapas-de-madeira/>). [Online] [Citação: 20 de 2 de 2015.]

[www.madeira.pflanzenweg.de/assets/images/map\\_madeira.gif](http://www.madeira.pflanzenweg.de/assets/images/map_madeira.gif). [Online] [Citação: 25 de 11 de 2014.]

<http://madilusion.blogspot.pt>. [Online] [Citação: 8 de 2 de 2015.]

<http://filipafernandes.files.wordpress.com>. [Online] [Citação: 30 de 10 de 2014.]

<http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt/>. [Online] [Citação: 25 de 11 de 2014.]

<http://www.lneg.pt>. [Online] [Citação: 30 de 11 de 2014.] <http://www.lneg.pt>.

**AFAvias. 2015.** Grupo AFA. *Ribeira de São João*. [Online] 25 de Abril de 2015. <http://www.afa.pt/>.

## **Bibliografia**

**Agriculture, United States Department of. 1997.** Ponds - Planning, Design, Construction. *Agriculture Handbook Number 590*. s.l. : Natural Resources Conservation Service, 1997.

**Brum Da Silveira, A., et al. 2008.** *A new Geological Map of Madeira Island, Portugal. Abstracts of the 2008 IAVCEI General Assembly*. s.l. : Reykjavík, in CD-Rom (Monday, Aug. 18th, oral presentations): 80, 2008.

**Cardoso, A. H. 1998.** *Hidráulica Fluvial*. Liaboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

**Carvalho, A.M Galopim de e Brandão, J.M. 1991.** *Geologia do Arquipélago da Madeira*. s.l. : Publicação do Museu Nacional de História Natural, 170p, 1991.

**Chow, Ven Te, Maidment, David R. e Mays, Larry W. 1988.** *Applied Hydrology*. s.l. : McGraw-Hill International Editions, 1988.

**Colombo, A. G., Hervás, J. e Arellano, A. L. V. 2002.** *Nedies Project: Guidelines on Flash Flood Prevetion and Mitigation*. Itália : Report EUR 20386 En, 2002.

**Correia, Cecília Maria Rodrigues. 2007.** Boas Práticas para Ocupação do Solo, no respeito pelos Recursos Hídricos. *Corredores Ribeirinhos e Controlo de Cheias e de Áreas Inundadas em Pequenas Bacias Hidrográficas*. s.l. : Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Maio de 2007.

**Costa, Teixeira da e Lança, Rui. 2011.** Apontamentos de apoio às aulas de Hidráulica Aplicada. Faro : Instituto Superior de Engenharia. Universidade do Algarve, 2011.

**Dauphiné, André. 2001.** *Risques et Catastrophes. Observer-Spatialiser-Comprendre-Gener*. Paris : Armand Colin, 2001. p. 288.

**EARAM. 2010.** *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira. Relatório Síntese (Versão 0.99d)*. s.l. : Instituto Superior Técnico, Universidade da Madeira e Laboratório Regional de Engenharia Civil, IP-Ram, 2010.

**Fernandes, Mariela Justina Pio. 2009.** Riscos no Concelho da Ribeira Brava, movimentos de vertentes, cheias rápidas e inundações. *Dissertação de Mestrado*. Coimbra : s.n., 2009.

- Ferreira, A. 1955.** O clima de Portugal. Açores e Madeira. s.l. : INMG, Fasc. VIII, 64 pp, 1955.
- Ferreira, Armando Luís Mendes. 2010.** CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E ÁREAS INUNDÁVEIS NO CONCELHO DE POMBAL. *Dissertação de Mestrado*. Coimbra : Universidade de Coimbra, 2010.
- Figueira, C, et al. 2006.** Estudo de precipitação oculta em dois tipos de vegetação da ilha da Madeira. 8º Congresso da Água. Figueira da Foz : Março, 2006.
- Fonseca P., Madeira J., Serralheiro A., Rodrigues C., Prada S. & Nogueira C. 2000.** *Dados geológicos preliminares sobre os alinhamentos tectónicos da ilha da Madeira*. Lagos : Actas das Comunicações apresentadas à 2ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Fevereiro, 2000.
- Frisch, A.S., et al. 1994.** – “*Stratus cloud liquid water and turbulence profiles using a Ka – band Doppler radar and a microwave radiometer*”. Lisboa : in Second International Conference on Air – Sea Interaction and on Meteorology and Oceanography of the Coastal Zone – American Meteorological, 22 - 27 Set., 1994. pp. 58 - 59.
- Frutuoso, G. 1998.** *Saudades da Terra-Livro II*. s.l. : Nova ed. - Instituto Cultural de Ponta Delgada, Ponta Delgada, 1998.
- Geldmacher, J., et al. 2000.** – Ar Age Dating Of The Madeira Archipelago and Hotspot Track (Eastern North Atlantic). s.l. : Geomar Wischhofstrasse 1: 109–122, 2000.
- Gregory, Kenneth John e Walling, D. E. 1973.** *Drainage basin form and process: a geomorphological approach*. EUA : Universidade de Michigan, 1973.
- Gregory, Kenneth John, Walling, D. E. 1973.** *Drainage basin form and process: a geomorphological approach*. s.l. : Universidade de Michigan, 1973.
- Lencastre, A. e Franco, F. M. 2006.** *Lições de Hidrologia 3ª edição revista*. Lisboa : Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2006.
- Lien, P. H. 2003.** *Designt of slit dams of controlling stony debris flows*. s.l. : International Journal of Sediment Research, 2003. Vol. 18 N°1.

**LNEG. 2009.** *Carta geológica simplificada da Ilha da Madeira à escala 1:80.000. Coordenação de M. Luísa Ribeiro. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. s.l. : Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia. Projeto co-financiado pela Região Autónoma da Madeira, 2009.*

**Lopes, Sérgio. 2003.** – *O Risco de “Aluvião” nas Bacias Hidrográficas Concelho do Funchal. Contributo Para o Ordenamento do Território.* Lisboa : Faculdade de letras, universidade de Lisboa, 2003.

**Lousada, Sérgio A.N. 2013-2014.** *Apontamentos da Unidade Curricular de Obras Marítimas do Mestrado em Engenharia Civil.* Madeira : Universidade da Madeira, 2013-2014.

**Lousada, Sérgio. 2012-2013.** *Apontamentos da Unidade Curricular de Obras Marítimas do Mestrado em Engenharia Civil.* Madeira : Universidade da Madeira, 2012-2013.

**Maciel, O. 2005.** *Precipitações Intensas na Ilha da Madeira, Incidências, Contrastes.* s.l. : Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 2005.

**Mata, J.M.L. da. 1996.** *Petrologia e geoquímica das lavas da ilha da Madeira: implicações para os modelos de evolução do manto terrestre. Tese de Doutoramento em Geologia.* s.l. : Universidade de Lisboa, 471p., 1996.

**Mata-Lima, Herlander. 2007.** *Hidráulica, Hidrologia e Recursos Hídricos. Apontamentos de apoio à unidade curricular.* s.l., Funchal : Universidade da Madeira, 2007.

**Mata-Lima, Herlander, et al. 2007.** *Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um caso de estudo. Revista Escola de Minas.* s.l. : Universidade Federal de Ouro Preto, 2007. Vol. 60 nº3.

**Mesquita, S., Capelo, J. e Sousa, J. 2004.** “*Bioclimatologia da Ilha da Madeira: abordagem numérica*”. s.l. : Quercetea 6, 2004. pp. 47 - 58.

**Methods, Haestad e Durrans, S. Rocky. 2003.** *Stormwater Conveyance Modeling and Design.* Waterbury : Haestad Press, 2003.

**NEMUS, HIDROMOD. 2014.** *Plano de Gestão da Região Hidrográfica (PGRH) do Arquipélago da Madeira. 2ª Parte – Caracterização e Diagnóstico. Tomo 1*. s.l. : Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais, Região Autónoma da Madeira., 2014.

**Prada, S. 2012.** Apontamentos da Unidade Curricular de Hidrologia e Recursos Hídricos. Funchal : Universidade da Madeira, 2012.

**Prada, S., et al. 2003.** *Recursos Hídricos da Ilha da Madeira*. s.l. : Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, Tomo 90: 125-142, 2003.

**Prada, S.L.R., Gaspar M.A., Menezes de Sequeira, M., Nunes A., Figuera C. e Cruz J.V.C. 2005.** *Disponibilidade hídricas da ilha da Madeira*. IN. *AQUAMAC, Técnicas e Métodos para a Gestão Sustentável da Água na Macaronésia*. s.l. : Instituto Tecnológico de Canárias, p.261-294, 2005.

**PRAM. 2002.** *1ª Fase: Caracterização e Diagnóstico da Situação Atual. Plano Regional da Água da Madeira*. s.l. : SRES, Agosto , 2002.

**PRAm. 2003.** *Plano Regional da Água da Madeira, Relatório técnico - Versão para consulta pública*. Funchal : SRES, Março, 2003.

**Quintal, R. 1996.** Laurissilva: a floresta da Madeira. *2ª edição*. Funchal : Correio da Madeira, 1996.

**Quintal, R. 2007.** Estudo fitogeográfico dos jardins, parques e quintas do concelho do Funchal. *Dissertação de Doutoramento apresentada à*. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. : s.n., 2007.

**Quintal, Raimundo. 1999.** Aluviões da Madeira: Séculos XIX e XX. Artigo publicado na “Territorium” (6.1999), Revista de Geografia Aplicada no Ordenamento do Território e Gestão de Riscos Naturais. s.l., Coimbra : Editora Minerva, 1999.

**Quintela, António C. 1996.** *Hidrologia e Recursos Hídricos*. s.l. : Instituto Superior Técnico, 1996.

**Quintela, António Carvalho. 2005.** *Hidráulica*. 7ª. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2005.

**Quintela, António de Carvalho. 1998.** *Hidráulica*. 6ª edição. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1998. p. 254.

**Ramos, C. 1993.** *As cheias de Dezembro de 1989 em pequenas bacias – vertentes da margem direita do baixo Tejo*. Estudos de Geografia Física e Ambiente, 32 : LAGF, CEG, Lisboa, Pg. 119-132., 1993.

**Ramos, Catarina Melo. 2005.** *Programa de Hidrogeografia*. Lisboa : Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, DILIF-3, 2005.

**Rebelo, F. 2003.** *Riscos Naturais e Acção Antrópica*. s.l. : Imprensa da Universidade de Coimbra., 2003.

**Rebelo, Fernando. 2001.** *Riscos Naturais e Acção Antrópica*. s.l. : Imprensa da Universidade de Coimbra. (2ª edição revista e aumentada), 2001.

**Ribeiro, L.P., et al. 2005.** Elemental and lead isotopic evidence for coeval heterogeneities at Madeira/Desertas mantle source. Aveiro : Actas do VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 485-487., 2005.

**Ribeiro, M e Ramalho, M. 2007.** *Uma Visita Geológica ao Arquipélago da Madeira: Principais Locais Geo-Turísticos*. Madeira : DRCIERAM / INETI, 2007.

**Ribeiro, O. 1985.** *A Ilha da Madeira até Meados do Século XX, Estudo Geográfico*. Lisboa : Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, 1ª edição, 1985.

**Ribeiro, O. 1949.** *L'Ile de Madère, Etude Geographique, Congrès Int. de Geogr.* Lisboa : Livro guia, 1949. Vol. 1.

**Ricardo, R. Pinto, Câmara, E.M. Silva da e Ferreira, M.A. Melo (Coordenação). 1992.** Carta dos solos da Ilha da Madeira, Carta de Solos à escala 1:50.000 e Notícia Explicativa. Centro de Estudos de Pedologia (IICT), Instituto Superior de Agronomia (UTL), Centro de Pedologia da Universidade Técnica de Lisboa., Centro de Estudos de Pedologia (IICT), Instituto Superior de Agronomia (UTL), Centro de Pedologia da Universidade Técnica de Lisboa : Direcção Regional de Agricultura da Madeira. Governo Regional da Região Autónoma da Madeira, Secretaria Regional de Economia, Direcção Regional de Agricultura, 1992.

**Santos, D. & Aguiar, R. 2006.** *Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélagos da Madeira – Projeto CLIMAAT II.* s.l. : Direção Regional do Ambiente, Funchal, 2006.

**Schiavetti, Alexandre e Camargo, Antonio F. M. 2005.** *Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações.* Bahia : Editus, 2005.

**Silva, F. e Meneses, C. 1997.** *Elucidário Madeirense.* Funchal : Edição do Centro de Estudos de História da Atlântico, Versão em CD-Rom, Vol. 3., 1997.

**Silva, J.B., Almeida, F.E. e Gomes, C.S.F. 2010.** *Aprender com a Natureza. Enxurradas e Inundações na Madeira.* s.l. : Suplemento Mais do Diário de Notícias da Madeira de 28 de Março de 2010, 2010.

**Sziemer, Peter. 2000.** *Madeira's Natural History in a Nutshell.* Funchal, Portugal : Edições Francisco & Filhos, 2000.

**Teixeira, Hugo Miguel Moniz. 2010.** Caracterização hidráulica, hidológica e de transporte sólido do evento de 20 de Fevereiro de 2010 na ribeira de São João - Ilha da Madeira. *Dissertação de Mestrado.* Funchal : Universidade da Madeira, 2010.

**Valente, B. 2010.** *Temporal na Ilha da Madeira. Causas, Consequências e Formas Mitigadoras dos Danos.* s.l. : Ingenium. Ordem dos Engenheiros, II Série, Número 116, Março/Abril, pp 44 - 47, 2010.

**Villela, S. M. e Matos, A. 1975.** *Hidrologia Aplicada.* São Paulo : Editora Mc Graw Hill, 1975.

**Zbyszewski, G, et al. 1975.** *Notícia explicativa das folhas A e B (ilha da Madeira) da Carta Geológica de Portugal: 1/50 000.* s.l. : Serviços Geológicos de Portugal, 1975.



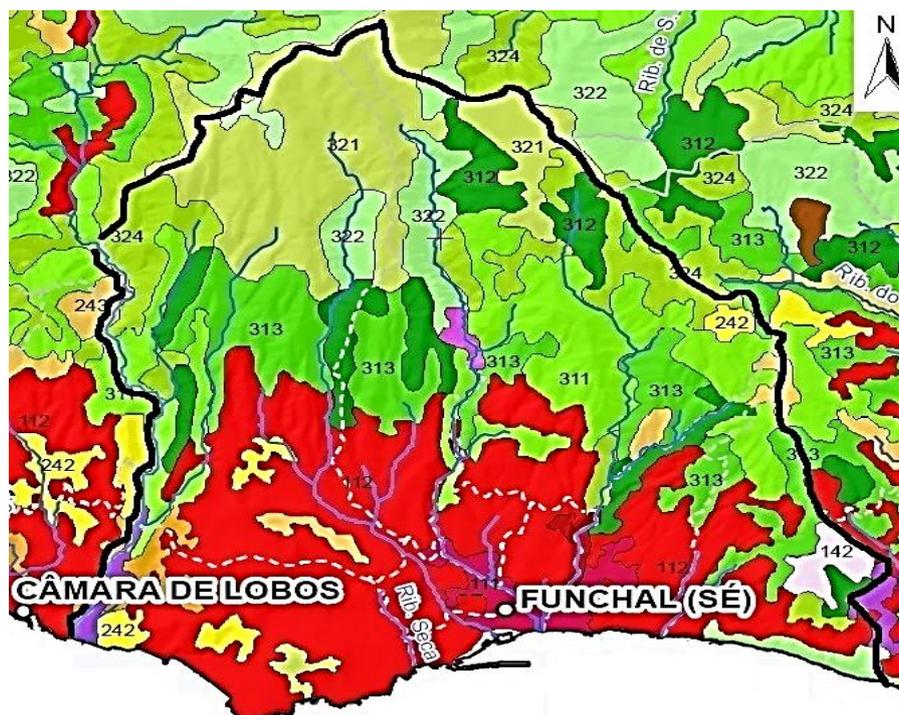
# **ANEXOS**



# **ANEXO I**

Solos no concelho do Funchal e na RAM

### Solos no concelho do Funchal



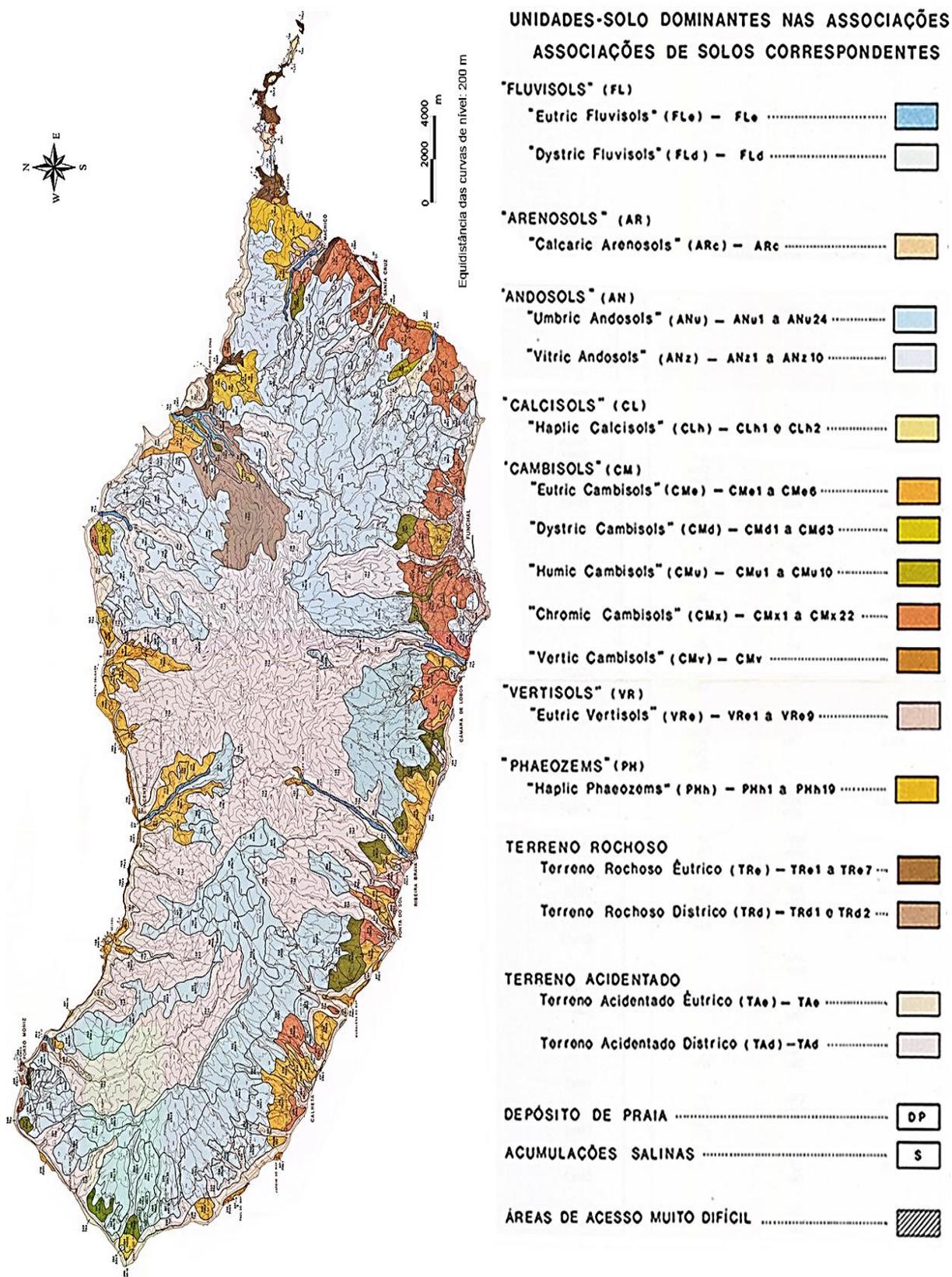
#### USOS DO SOLO

111	Tecido urbano contínuo
112	Tecido urbano descontínuo
121	Indústria, comércio e equipamentos gerais
122	Redes viárias e ferroviárias e espaços associados
123	Áreas portuárias
124	Aeroportos e aeródromos
131	Áreas de extração de inertes
132	Áreas de deposição de resíduos
133	Áreas em construção
141	Espacos verdes urbanos
142	Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas
212	Culturas temporárias de regadio
221	Vinhas
222	Pomares
231	Pastagens permanentes
241	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes
242	Sistemas culturais e parcelares complexos
243	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais
244	Sistemas agro-florestais
311	Florestas de folhosas
312	Florestas de resinosas
313	Florestas mistas
321	Vegetação herbácea natural
322	Matos
324	Florestas abertas, cortes e novas plantações
332	Rocha nua
333	Vegetação esparsa

Carta detalhada de uso de solos do concelho do Funchal.

(Adaptado do Plano de Gestão da Região Hidrográfica (PGRH) do Arquipélago da Madeira (Nemus, Hidromod, 2014))

### Solos RAM



Carta de Solos da Madeira  
(Carta de Solos da Ilha da Madeira, 1992)



## **ANEXO II**

Formas de cálculo do tempo de concentração de uma  
bacia hidrográfica

## AII.1 - Método baseado na velocidade de escoamento

O método baseia-se na divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias com características homogêneas de declive e cobertura, estimando-se o tempo de escoamento a partir da velocidade média do escoamento superficial através da seguinte fórmula, (Lencastre e Franco, 2006):

$$t_i = \frac{L_i}{3600 \cdot v_i} \quad (\text{Equação AII.1})$$

Em que:

$t_i$  - tempo de escoamento para o troço  $i$  (h);

$L_i$  - comprimento do troço  $i$  (m);

$v_i$  - velocidade média do escoamento superficial para o troço  $i$  (m/s).

Em canais bem definidos, a velocidade média do escoamento pode ser calculada a partir de fórmulas de escoamento em superfície livre e regime uniforme, como por exemplo, a equação de Gauckler-Manning-Strickler. Simplificadamente, na prática, pode recorrer-se à expressão AII.2 para determinar-se a velocidade média.

$$v_i = \omega \cdot \sqrt{i} \quad (\text{Equação AII.2})$$

Em que:

$i$  - declive (m/m);

$\omega$  - coeficiente obtido por simplificação da equação de Gauckler-Manning-Strickler.  $\omega$  toma o valor de 4,91 em superfícies não pavimentadas e 6,19 em superfícies pavimentadas.

De um modo geral, este parâmetro pode ser tirado do ábaco da figura AII.1 ou do quadro AII.1 abaixo representados.

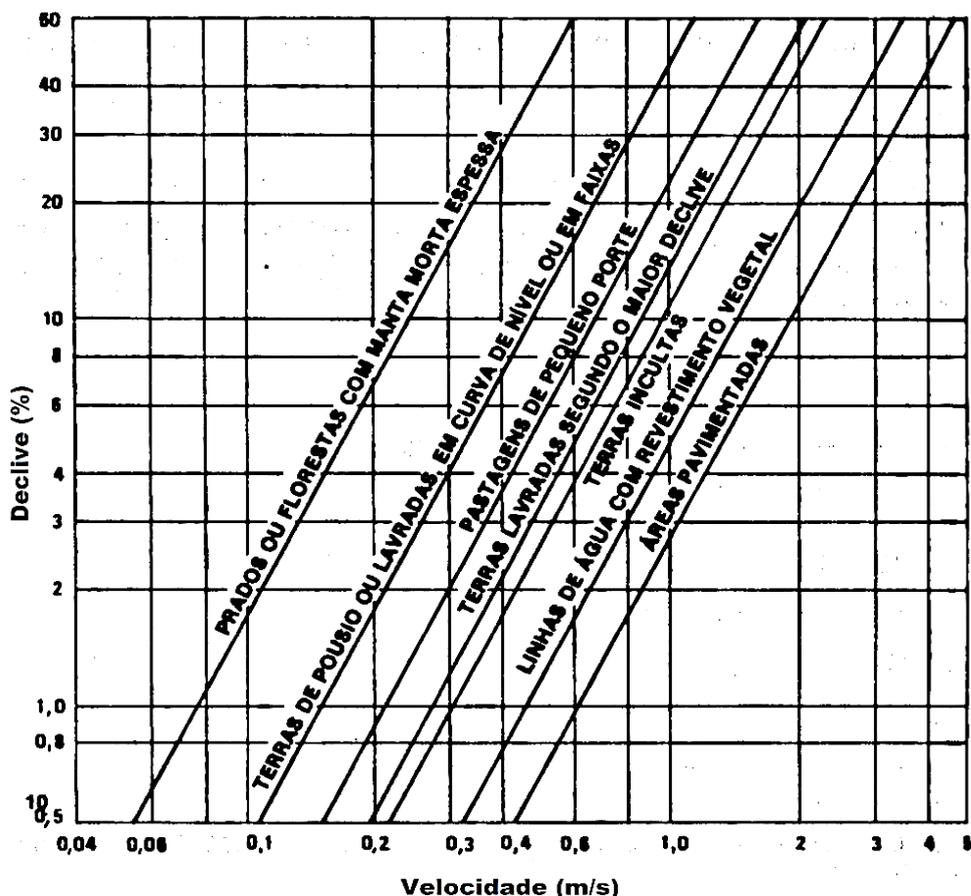


Figura AII.1: Velocidade do escoamento superficial em função do declive e da ocupação do solo, (Lencastre e Franco, 2006).

Quadro AII.1: Velocidade do escoamento superficial para diferentes ocupações do solo e declives, (Chow *et al.*, 1988).

Tipo de cobertura	Declive (%)			
	0 – 3	4 – 7	8 – 11	12 – 15
Canal natural mal definido	0 – 0,6	0,6 – 1,2	1,2 – 2,1	> 2,1
Florestas	0 – 0,5	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	> 1,0
Pastos	0 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,3	> 1,3
Terrenos Cultivados	0 – 0,9	0,9 – 1,4	1,4 – 1,7	> 1,7
Terrenos pavimentados	0 – 2,6	2,6 – 4,1	4,1 – 5,2	> 5,2

Finalmente, o tempo de concentração da bacia é dado pela soma dos tempos de escoamento em cada troço, conforme a expressão:

$$t_c = \frac{1}{3600} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{v_i} \quad \text{(Equação AII.3)}$$

Em que:

$t_c$  - tempo de concentração da bacia (h);  
 $n$  é o número de troços considerados.

## AII.2 - Método do Soil Conservation Service

O método desenvolvido pelo Soil Conservation Service do departamento de agricultura dos EUA relaciona o tempo de concentração da bacia com o tempo de resposta da mesma através da expressão seguinte, (Methods e Durrans, 2003):

$$t_c = 1,67 \cdot t_r \quad \text{(Equação AII.4)}$$

Onde:

$t_c$  - tempo de concentração da bacia (h);  
 $t_r$  - tempo de resposta da bacia (h).

O tempo de resposta da bacia, em horas, provém da equação a seguir explicitada, (Methods e Durrans, 2003):

$$t_r = \frac{2,587 \cdot L^{0,8} \cdot \left[ \frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0,7}}{1900 \cdot i_{mb}^{0,5}} \quad \text{(Equação AII.5)}$$

Com:

$t_r$  - tempo de resposta da bacia hidrográfica (h);  
 $CN$  - número do escoamento;  
 $L$  - comprimento da bacia hidrográfica (m);  
 $i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica (%).

Para o declive médio da bacia hidrográfica usa-se a fórmula proposta em (Mata-Lima *et al.*, 2007) ou (Agriculture, 1997):

$$i_{mb} = \frac{100 \cdot L_c \cdot I_c}{A_b} \quad \text{(Equação AII.6)}$$

Onde:

$i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica (m);

- $L_c$  - comprimento total do desenvolvimento das curvas de nível (m);  
 $I_c$  - equidistância entre as curvas de nível (m);  
 $A_b$  - área da bacia (m<sup>2</sup>).

O número do escoamento, CN, relaciona e descreve o comportamento hidrológico dos vários tipos de solo, a sua utilização e as condições de superfície (Correia, 2007).

O valor de CN varia no intervalo [0, 100]. Para CN = 0, temos solos com elevada condutividade hidráulica e para CN = 100 os solos são impermeáveis. Assim, este parâmetro mostra a capacidade da bacia hidrográfica em gerar escoamento superficial.

Segundo Lencastre e Franco (2006) o Soil Conservation Service classifica os solos, quando completamente humedecidos, em quatro grupos, conforme o quadro AII.2.

Quadro AII.2: Classificação dos solos segundo o Soil Conservation Service

<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B</b>	<b>Tipo C</b>	<b>Tipo D</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de escoamento superficial baixo</li> <li>• Solos com elevada transmissividade</li> <li>• Areias profundas com drenagem boa ou excessiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de escoamento superficial abaixo da média</li> <li>• Solos com transmissividade média</li> <li>• Solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira, e medianamente drenadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de escoamento superficial acima da média</li> <li>• Solos com transmissividade baixa</li> <li>• Solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial de escoamento superficial elevado</li> <li>• Solos com transmissividade muito baixa</li> <li>• Solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade</li> </ul>

O Soil Conservation Service apresenta os números de escoamento (CN) para as condições de humidade AMC-II, para os tipos de solo do quadro AII.2 e para as diferentes utilizações do solo no quadro AII.3, infra representados.

No quadro AII.4 são apresentados os valores de CN para bacias hidrográficas rurais.

Quadro AII - 3: Valor do número de escoamento, CN, em bacias urbanas e suburbanas para as condições de humidade AMC-II e diferentes utilizações do solo. (Lencastre e Franco, 2006)

Utilização ou cobertura do solo	Tipo de solo					
	A	B	C	D		
Terras lavradas:						
– não cultivadas	72	81	88	91		
– cultivadas	62	71	78	81		
Pastagens:						
– pobres	68	79	86	89		
– boas	39	61	74	80		
Prados em boas condições	30	58	71	78		
Florestas:						
– pouco densas	45	66	77	83		
– densas	25	55	70	77		
Espaços abertos, relvados, campos de golfe, cemitérios, etc.:						
– em boas condições: cobertura com 75% ou mais de relva	39	61	74	80		
– fracas condições: cobertura com 50% a 75% de relva	49	69	79	84		
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)	89	92	94	95		
Zonas industriais (72% de impermeabilização)	81	88	91	93		
Zonas residenciais:						
Tamanho dos lotes (média) (m <sup>2</sup> )	Imper. (média) (%)					
500	65		77	85	90	92
1000	38		61	75	83	87
1300	30		57	72	81	86
2000	25		54	70	80	85
4000	20		51	68	79	84
Lotes de parques pavimentados, telhados, passeios, etc.						
Ruas, estradas:						
– pavimentadas, com sarjetas e coletores	98	98	98	98		
– empedradas	76	85	89	91		
– terra batida	72	82	87	89		

Quadro AII - 4: Valor de CN, em bacias rurais para as condições de humidade AMC-II e diferentes utilizações do solo, (Mata-Lima, 2007)

Utilização ou cobertura do solo	Condições de superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Cultura arvense	– Segundo o maior declive	64	76	84	88
	– Segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	– Segundo as curvas de nível em terraços	60	71	79	82
Rotação de cultura	– Segundo o maior declive	62	75	83	87
	– Segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	– Segundo as curvas de nível em terraços	57	70	78	82
Pastagem	– Pobre	68	79	86	89
	– Normal	49	69	79	84
	– Boa	39	61	74	80
	– Pobre - Segundo o maior declive	47	67	81	88
	– Pobre - Segundo as curvas de nível	25	59	75	83
	– Boa - Segundo as curvas de nível	6	35	70	79
Prado permanente	– Normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	– Normal	59	74	82	86
Estradas	– Pavimento permeável	72	82	87	89
	– Pavimento impermeável	74	84	90	92
Floresta	– Muito aberta ou de baixa transpiração	56	75	66	91
	– Aberta ou de baixa transpiração	46	68	78	84
	– Normal	36	60	70	76
	– Densa ou de alta transpiração	26	52	62	69
	– Muito densa ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável		100	100	100	100

As condições antecedentes de humidade do solo, AMC, segundo o Soil Conservation Service são três (Mata-Lima, 2007), assim discriminadas:

- **AMC-I:** solos secos, a precipitação registada nos últimos cinco dias não ultrapassou os 15mm;
- **AMC-II:** situação média na época de cheias, a precipitação registada nos últimos cinco dias encontra-se entre 15mm e 40mm;
- **AMC-III:** solo húmido, a precipitação registada nos últimos cinco dias foi superior a 40mm;

Os valores de CN apresentados no Quadro AII.3 e AII.4 correspondem à condição AMC-II. Quando as condições de humidade do solo se aproximam dos seus limites inferior ou superior, respetivamente AMC-I e AMC-III, os valores do CN deverão ser corrigidos de acordo com as expressões (AII.7) e (AII.8), obtendo-se respetivamente CNI e CNIII, (Lencastre e Franco, 2006); (Methods e Durrans, 2003).

$$CNI = \frac{4,2 \cdot CNII}{10 - 0,058 \cdot CNII} \quad (\text{Equação AII.7})$$

$$CNIII = \frac{23 \cdot CNII}{10 + 0,13 \cdot CNII} \quad (\text{Equação AII.8})$$

Em geral, os caudais de ponta de cheia para frequências de ocorrência elevadas, são calculados com o valor do número de escoamento de AMC-III, (Lencastre e Franco, 2006).

Se a bacia não for homogénea em termos de solos e condições de cobertura, o CN deve ser a média ponderada dos CN<sub>i</sub> que correspondem às várias áreas homogéneas em que é possível dividir a bacia, ou seja:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (\text{Equação AII.9})$$

Onde,

CN - número do escoamento da bacia (-);

CN<sub>i</sub> - número do escoamento para a sub-bacia i (-);

A<sub>i</sub> - área correspondente à sub-bacia i (m<sup>2</sup>).

Observação:

Esta metodologia é aplicável com bons resultados em pequenas bacias hidrográficas, com área inferior a 8 Km<sup>2</sup>, sendo muito fiável em áreas completamente pavimentadas. Para bacias mistas revela já alguma imprecisão no tempo de resposta, (Mata-Lima et al., 2007).

### AII.3 - Kirpich

Kirpich (1940) propôs para o tempo de concentração as seguintes expressões:

$$tc = 0,0663 \cdot \frac{L_b^{1,155}}{\Delta h^{0,385}} \quad (\text{Equação AII.10a})$$

Ou

$$tc = 0,0663 \cdot \frac{L_b^{0,77}}{i_{mb}^{0,385}} \quad (\text{Equação AII:10b})$$

Onde,

$tc$  - tempo de concentração (h);

$L_b$  - comprimento da linha de água principal (km);

$\Delta h$  - diferença entre as cotas extremas da linha de água principal (km);

$i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica.

Observação:

Aplica-se a bacias rurais com canais bem definidos, com áreas entre 0,005 km<sup>2</sup> e 0,5 km<sup>2</sup> e declives entre 3% e 10%. O tempo de concentração deve ser 0.4 e por 0.2 em superfícies asfaltadas e em canais de betão, respetivamente, (Akan e Houghtalen, 2003).

### AII.4 - Morgali e Linsley

Morgali e Linsley (1965) formularam a seguinte expressão para o cálculo do tempo de concentração:

$$tc = 0.94 \frac{(K_M^2 L_b^2)^{0.3}}{I_m^{0.4} \cdot i_{mb}^{0.3}} \quad (\text{Equação AII.11})$$

Em que:

$tc$  - tempo de concentração (min);

- $L_b$  - comprimento da linha de água principal (ft);
- $K_M$  - coeficiente de rugosidade da fórmula de Morgali (-);
- $I_m$  - intensidade média de precipitação (in/h);
- $i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica.

A intensidade média da precipitação e o tempo de concentração são desconhecidos, logo a expressão terá de ser resolvida por processos iterativos. Para o coeficiente de rugosidade,  $K_M$ , usa-se o valor tirado do quadro AII.5 em função do tipo de superfície.

Quadro AII - 5: Coeficiente de rugosidade a usar na fórmula de Morgali e Linsley (Matos, 1987)

Tipologia da superfície	Valores de $K_M$
Pavimento asfáltico	0.012
Pavimento em betão	0.014
Solo bem compactado	0.02
Solo mal compactado	0.03
Relvado pobre e disperso	0.03
Pastagens; relva medianamente densa	0.04
Relva densa	0.06
Arbustos médios e pequenos	0.08
Arvoredo	0.20
Tipo de ocupação	Valores de $K_M$
Comercial e pequeno industrial	0.015 - 0.035
Residencial (denso)	0.025 - 0.040
Residencial (suburbano)	0.030 - 0.055
Parques	0.040 - 0.080

## AII.5 - Izzard

Izzard (1946) propôs a seguinte expressão para o tempo de concentração

$$tc = 41 \left( 0.0007I^{1/3} + \frac{K_I}{I^{2/3}} \right) \left( \frac{L_b}{CN^2 i_{mb}} \right)^{1/3} \quad \text{(Equação AII.12)}$$

Em que:

- $tc$  - tempo de concentração (min);
- $L_b$  - comprimento da linha de água principal (ft);
- $K_I$  - coeficiente de rugosidade da fórmula de Izzard (-);
- $I$  - intensidade de precipitação (in/h);
- $i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica;

CN - número do escoamento.

A expressão (AII.11) é aplicável em superfícies revestidas com gravilha. O coeficiente de rugosidade da fórmula de Izzard,  $K_I$ , varia em função do revestimento do piso. Assim, para este parâmetro é apresentado o quadro AII.6 com os seguintes valores.

Quadro AII. 6: Coeficiente de rugosidade da fórmula de Izzard (adaptado de Chow *et al.*, 1988)

Tipologia da superfície	Valores de $K_I$
Pavimento asfáltico liso	0.0070
Pavimento arenoso liso	0.0075
Pavimento em betão	0.0120
Pavimento de gravilha	0.0600

### AII.6 - Pickering

Para o cálculo do tempo de concentração em bacias de passagens hidráulicas, Brisa (1974) propõe a fórmula de Pickering, a seguir enunciada.

$$tc = \left( \frac{0.871L_b^3}{\Delta h} \right)^{0.385} \quad \text{(Equação AII.13)}$$

Em que:

$tc$  - tempo de concentração (h);

$L_b$  - comprimento da linha de água principal (km);

$\Delta h$  - diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (m).

A fórmula de Pickering provém da fórmula de Kirpich com a alteração das unidades da diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal.

### AII.7 - Ventura

Ventura propõe a seguinte expressão

$$tc = 240 \left( \frac{A_b L_b}{\Delta h} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação AII.14})$$

Em que:

$tc$  - tempo de concentração (min), com  $tc \geq 5$  min;

$L_b$  - comprimento da linha de água principal (km);

$A_b$  - área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)

$\Delta h$  - diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (m).

Observação:

Aplica-se a bacias naturais com tempos de concentração superiores a 5 minutos (Brisa, 1988).

## AII.8 - Schaake

Em Schaake *et al.*, (1967) é sugerida a seguinte expressão:

$$tc = \frac{0.503 L_b^{0.24}}{i_{mb}^{0.16} \alpha^{0.26}} \quad (\text{Equação AII.15})$$

Onde,

$tc$  - tempo de concentração (min);

$L_b$  - comprimento da linha de água principal (ft);

$\alpha$  - percentagem de áreas impermeáveis da bacia hidrográfica;

$i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica.

## AII.9 - Kerby

Kerby (1959) apresenta a seguinte equação:

$$tc = 0.83 \frac{K_K L_b}{\sqrt{i_{mb}}} \quad (\text{Equação AII.16})$$

Onde,

$t_c$  - tempo de concentração (min);

$L_b$  - comprimento da linha de água principal (ft);

$i_{mb}$  - declive médio da bacia hidrográfica;

$K_K$  - coeficiente de rugosidade da fórmula de Kerby (Quadro AIII.7).

Quadro AII - 7: Coeficiente de rugosidade da fórmula de Kerby (Matos, 1987)

<b>Tipologia da superfície</b>	<b>Valores de <math>K_K</math></b>
Impermeável lisa	0.02
Solo compacto liso	0.10
Relvado disseminado; superfície rugosa	0.20
Pastagem; relva densa	0.40

Observação:

Aplica-se a bacias hidrográficas de características variadas.



# **ANEXO III**

Formas de cálculo do caudal de ponta de uma bacia  
hidrográfica

## **Caudal de ponta de cheia**

O caudal de ponta de cheia é um parâmetro fundamental para aferir e assegurar que o risco de transbordo de infraestruturas ou de inundações de zonas mais baixas da bacia, seja admissível, principalmente nas áreas com maior densidade populacional. Simplificadamente, este caudal pode ser considerado como o caudal instantâneo máximo de uma dada situação de cheia, ou o caudal instantâneo máximo para um dada probabilidade de ocorrência (período de retorno).

Para a quantificação deste dado, existem várias formulações e podem ser divididas em três grupos, a seguir descritos.

- ✓ Fórmulas empíricas - menos rigorosas e por isso utilizadas em pré-dimensionamento de infraestruturas pouco críticas. Os elementos mais importantes são a experiência acumulada e a área da bacia;
- ✓ Fórmulas cinemáticas - atende ao tempo de concentração e chuvada crítica que origina o maior caudal de ponta para o tempo de concentração considerado;
- ✓ Fórmulas estatísticas - análise estatística de um conjunto de valores de caudal instantâneo máximo anual de uma estação hidrométrica, ou a partir dos valores de precipitação medidos nos vários postos da região, respeitantes a uma secção de referência.

Finalmente, apresentam-se algumas formulações dos grupos superiormente mencionados.

## **Formulações**

A utilização de fórmulas empíricas para a determinação do caudal de ponta de cheia, não é muito aconselhável por não atender a resultados de uma probabilidade estatística de ocorrência. Contudo, na situação em que a disponibilidade de informação hidrométrica não seja suficiente e quando tenham sido deduzidas para bacias e regiões climaticamente equivalentes, podem ser importantes na determinação de cheias excepcionais.

Nos quadros AIII-1 e AIII-2 apresentam-se algumas formulações de carácter empírico não cinemáticas e cinemáticas, respetivamente, para o cálculo do caudal de ponta de cheia

Quadro AIII-1: fórmulas empíricas para o cálculo do caudal de ponta de cheia

Método	Eq. nº	Equação	Termos da equação	Limitações
Fórmula de Iskowski	AIII-1	$Q_p = K_{IS} \cdot m_I \cdot \bar{P} \cdot A_b$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta (<math>m^3/s</math>)</p> <p><math>K_{IS}</math> - coeficiente variável entre 0.017 e 0.800, dependendo da categoria dos solos. Da cobertura vegetal e do relevo.</p> <p><math>m_I</math> - coeficiente variável com a área da bacia</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (<math>km^2</math>)</p> <p><math>\bar{P}</math> - precipitação média anual (m)</p>	Aplicável para bacias hidrográficas cuja área seja inferior a $1000 km^2$
Fórmula de Forti	AIII-2	$Q_p = A_b \cdot \left( b \cdot \frac{500}{A_b + 125} + c \right)$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta de cheia (<math>m^3/s</math>)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (<math>km^2</math>)</p> <p><math>b, c</math> - constantes que têm os valores de 2,35 e 0,5 para uma precipitação máxima diária menor que 200 mm, e os valores de 3,25 e 1,00 para uma precipitação máxima diária compreendida entre 200 mm e 400 mm, respetivamente.</p>	Aplicável para bacias hidrográficas cuja área seja inferior a $1000 km^2$
Fórmula de Pagliaro	AIII-3	$Q_p = A_b \cdot \left( \frac{2900}{90 + A_b} \right)$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta de cheia (<math>m^3/s</math>)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (<math>km^2</math>)</p>	Aplicável para bacias hidrográficas cuja área seja inferior a $1000 km^2$
Fórmula de Whistler	AIII-4	$Q_p = A_b \cdot \left( \frac{1538}{259 + A_b} + 0,054 \right)$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta de cheia (<math>m^3/s</math>)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (<math>km^2</math>)</p>	Aplicável para bacias hidrográficas com área entre $1000 km^2$ e $12000 km^2$

Quadro AIII-2: fórmulas cinemáticas para o cálculo do caudal de ponta de cheia

Método	Eq. nº	Equação	Termos da equação	Limitações
Fórmula de Temez	AIII-5	$Q_p = \frac{C \cdot I \cdot A_b}{3}$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)</p> <p><math>C</math> - coeficiente de escoamento da fórmula de Temez</p> <p><math>I</math> - intensidade média de precipitação (mm/h)</p>	Bons resultados para bacias hidrográficas cuja área seja inferior a 75 km <sup>2</sup>
Fórmula de Mockus	AIII-6	$Q_p = \frac{0,277 \cdot K \cdot A_b \cdot P_u}{\sqrt{t_c} + 0,6 \cdot t_c}$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta de cheia (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)</p> <p><math>K</math> - fator de ponta da bacia hidrográfica</p> <p><math>P_u</math> - precipitação útil (mm)</p> <p><math>t_c</math> - tempo de concentração (h)</p>	Aplicável para bacias hidrográficas com tempo de concentração até 4 horas
Fórmula de David	AIII-7	$Q_p = \frac{P_u \cdot A_b}{480,5(0,6 \cdot t_c + \frac{t_p}{2})}$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta de cheia (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (ha)</p> <p><math>P_u</math> - precipitação útil (mm)</p> <p><math>t_c</math> - tempo de concentração (h)</p> <p><math>t_p</math> - tempo de precipitação (h)</p>	Aplicável para bacias hidrográficas com áreas inferiores a 25 km <sup>2</sup>
Fórmula de Giandotti	AIII-8	$Q_p = \frac{\lambda \cdot A_b \cdot h_{max}}{t_c}$	<p><math>Q_p</math> - caudal de ponta de cheia (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>A_b</math> - área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)</p> <p><math>\lambda</math> - parâmetro em função da área</p> <p><math>t_c</math> - tempo de concentração (horas)</p> <p><math>h_{max}</math> - altura de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração e um período de retorno (mm)</p>	Condicionado pelo parâmetro $\lambda$ que é função da área da bacia

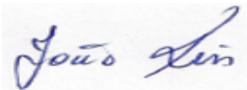
# **ANEXO IV**

Base de dados

Ribeiras: São João; Santa Luzia; João Gomes



FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de São João – Construção dos Açudes A5 a A8				
Identificação da Estrutura	Açude A5				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°41'56.30"N	Cota	791,50
		Longitude	16°55'57.31"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A5 corresponde a uma estrutura aberta, do tipo pilar, em betão armado nos pilares e fundação e em betão ciclópico nos encontros, em que a secção central de descarga (entre encontros) de caudais atinge toda a sua altura e 33,1m de largura. A estrutura é dividida em 4 blocos - 2 para o bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte. Integra 8 pilares de grande inércia, construídos em betão armado e de secção retangular chanfrada a montante de forma circular de raio igual a metade da espessura do pilar. Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 9 aberturas, igualmente espaçadas entre os pilares, estes com 2,6m de comprimento. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,8m, sendo portanto de 3,7m. No entanto, a solução apresenta ligeiras adaptações relativamente às obtidas pela aplicação da metodologia subjacente, de modo a melhorar os aspetos construtivos e a aumentar a robustez das estruturas. Os encontros têm paramento vertical até a cota de coroamento, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 2,5m de altura e 33,1m de largura. O encontro da margem esquerda inclui pregagens <math>\phi 25</math> A500NR com cerca de 6,0 m. A laje de fundação de onde saem os pilares tem 3,0m de espessura e constitui o maciço de encabeçamento das estacas, dispostas no comprimento do maciço e distanciadas de 3,6m e na largura de 3,5m. Nos encontros, a distância entre estacas varia em função do seu comprimento. A jusante do maciço de encabeçamento existe um tapete dissipação de energia, com enrocamento de proteção e encaminhamento de caudais em rocha sã com as dimensões de: <math>D_{max} = 2,0m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,5m</math>. O acesso é feito através do caminho existente na margem direita, que é interrompido pelo açude. A transposição do açude é conseguida através duma rampa à cota de coroamento, executada com material de aterro e confinada do lado da ribeira com um muro de pedra argamassada.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos(DRIE); Construtora do Tâmega, S.A; LREC; AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	Construtora do Tâmega, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	7+200		<b>Cota Soleira [m]</b>		791,50	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	17500,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,80	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	54,8		<b>Cota Coroamento [m]</b>		804,00	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	3,7		<b>Número de aberturas [Un]</b>		9,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>		<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>	
Secção retangular chanfrada de forma circular com chapas metálicas a montante		<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	
		8,0	791,50	10,0	1,10	
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
10,0	15,5	11,50	10,0	15,5	10,17	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/laje</b>			
Indireta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	0,8	12,0	43,10	10,0	3,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm. Aço S275 (em chapas metálicos de 10 mm).					
<b>Encontros</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, (mínimo de 200 kg de cimento por m3) a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão ciclópico tipo C20/25 com 70% de pedra sã com diâmetros entre 10 e 80 cm.					
<b>Fundação</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm, na laje de encaçamento e estacas (cofragem perdida).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A5 - Desenhos de projeto

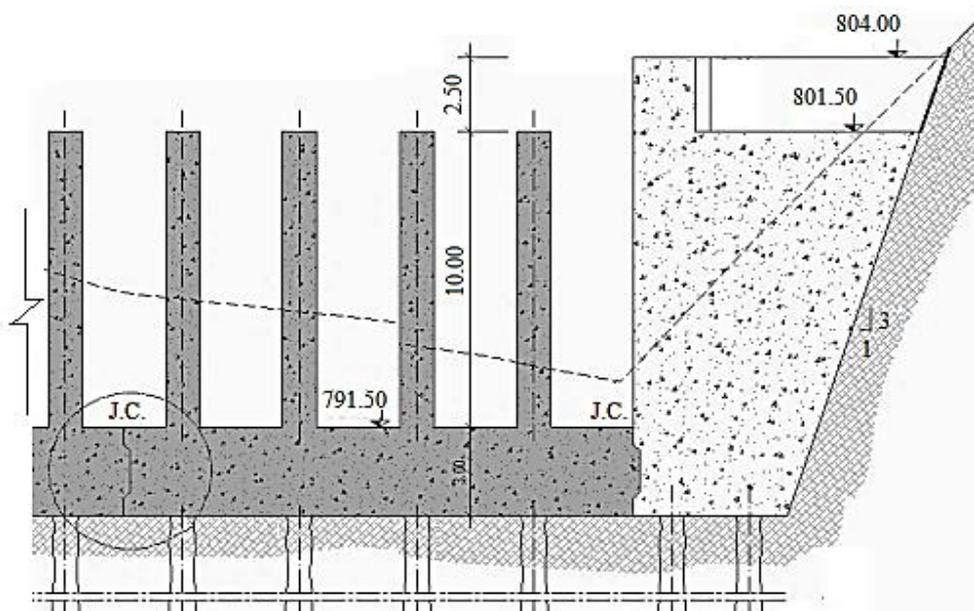


Figura A5.1: Vista parcial de jusante do açude A5 (sem escala)

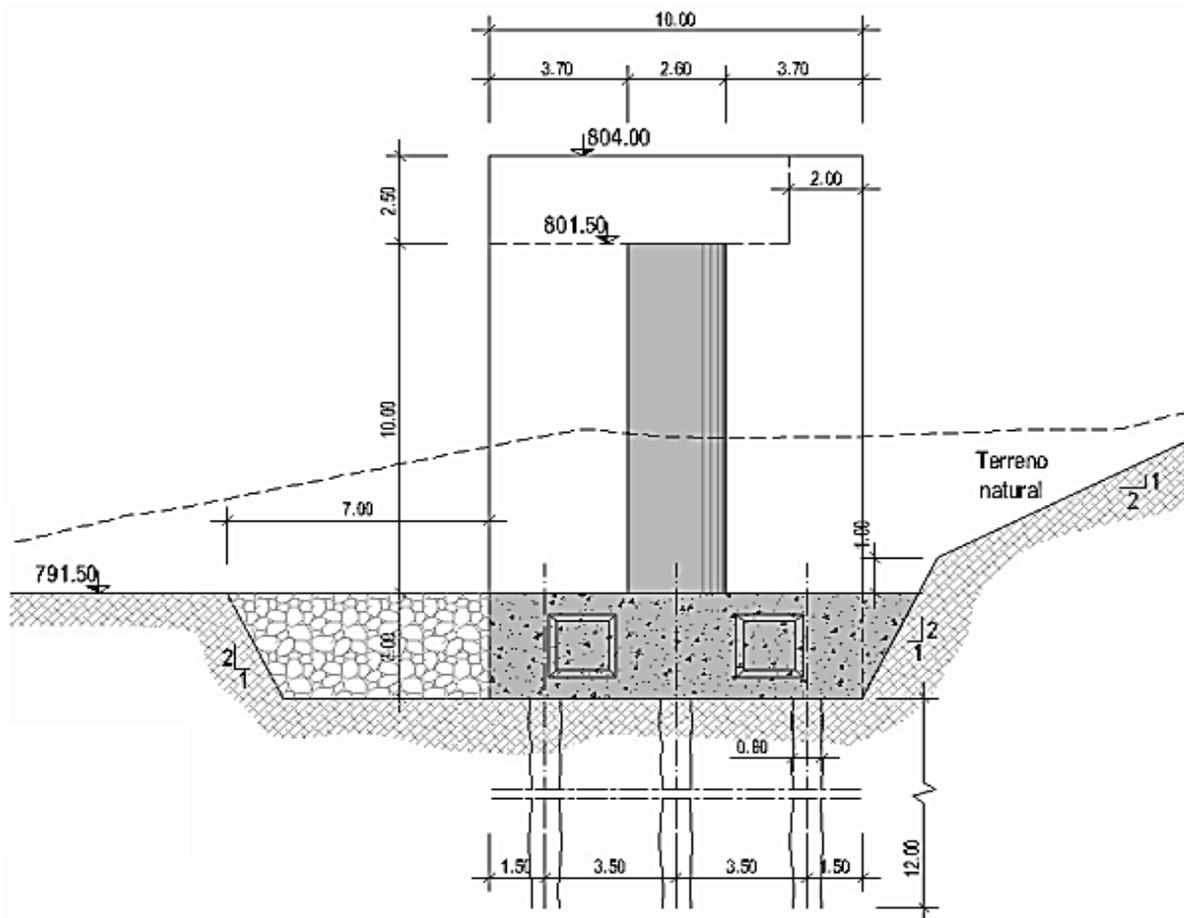


Figura A5.2: Perfil transversal do açude A5 (sem escala)

### Açude A5 - Desenhos de projeto

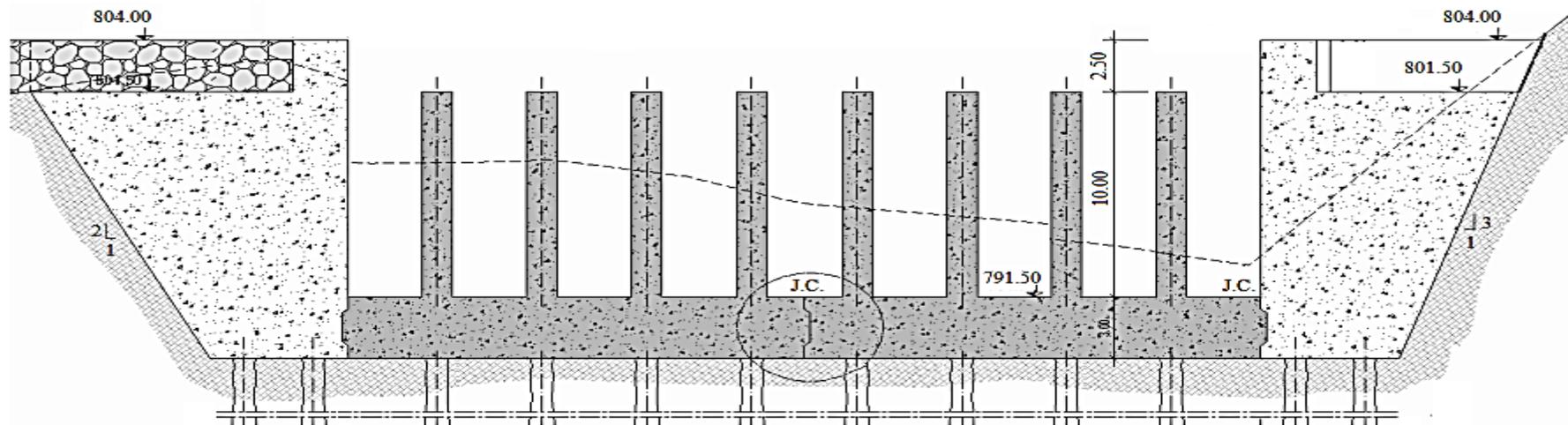


Figura A5.3: Vista de jusante do açude A5 (sem escala)

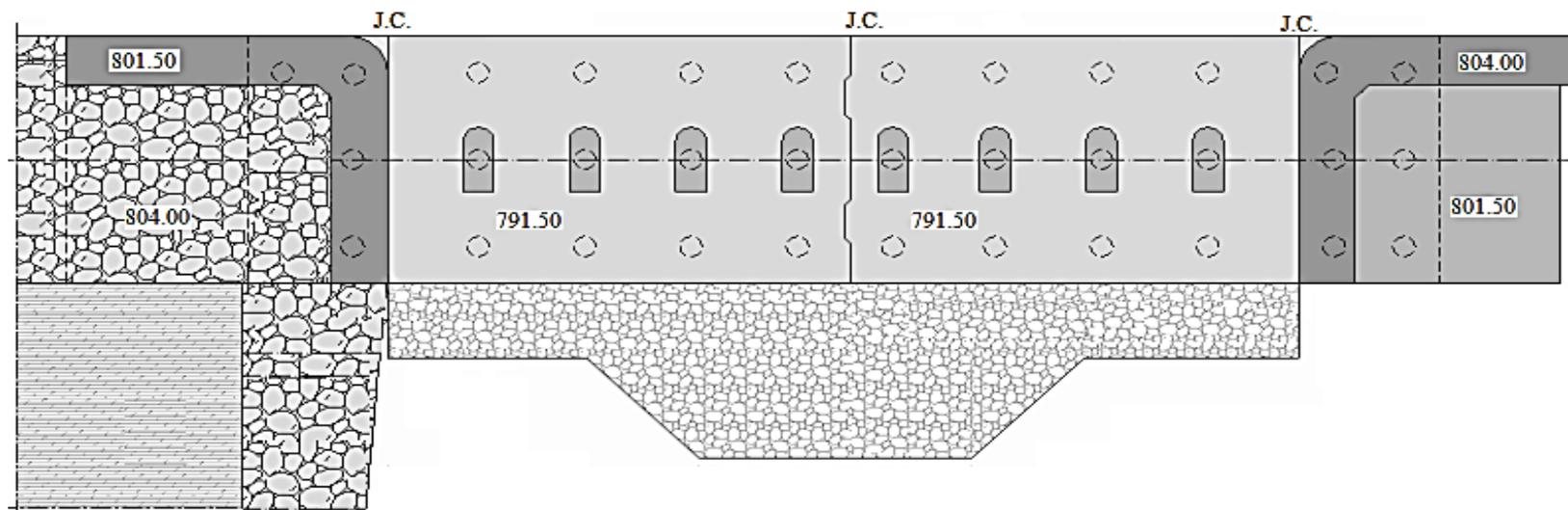


Figura A5.4: Vista em planta do açude A5 (sem escala)

## Açude A5 - Registo Fotográfico



Figura A5.5: Vista de jusante



Figura A5.6: Vista de montante

## Açude A5 - Registo Fotográfico

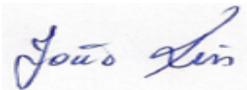


Figura A5.7: Acesso pela margem direita. Proteção a montante com chapas metálicas



Figura A5.8: Tapete de enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de São João – Construção dos Açudes A5 a A8				
Identificação da Estrutura	Açude A6				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°41'36.10"N	Cota	713,00
		Longitude	16°56'40.42"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A6 corresponde a uma estrutura aberta, do tipo pilar, em betão armado nos pilares e fundação e em betão ciclópico nos encontros, em que a secção central de descarga (entre encontros) de caudais atinge toda a sua altura e 43,8m de largura. A estrutura é dividida em 7 blocos - 3 para o bloco central dos pilares e 1 para o encontro direito e 3 para o encontro oposto, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte. Integra 13 pilares de grande inércia, construídos em betão armado e de secção retangular chanfrada a montante de forma circular de raio igual a metade da espessura do pilar. Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 14 aberturas, igualmente espaçadas entre os pilares, estes com 2,6m de comprimento. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,4m, sendo portanto de 2,8m. No entanto, a solução apresenta ligeiras adaptações relativamente às obtidas pela aplicação da metodologia subjacente, sendo o espaçamento de 2,1m. Os encontros têm paramento vertical até a cota de coroamento, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 2,5m de altura e 43,8m de largura. O encontro da margem esquerda inclui pregagens <math>\phi 25</math> A500NR com cerca de 6,0m. A laje de fundação de onde saem os pilares tem 3,0m de espessura e constitui o maciço de encabeçamento das estacas, dispostas no comprimento do maciço e distanciadas de 3,6m e na largura de 3,5m. Nos encontros, a distância entre estacas varia em função do seu comprimento. A jusante do maciço de encabeçamento existe um tapete dissipação de energia, com enrocamento de proteção e encaminhamento de caudais em rocha sã com as dimensões de: <math>D_{max} = 2,0m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,5m</math>. O acesso é feito através do caminho existente na margem direita, que é interrompido pelo açude. A transposição do açude é conseguida através duma rampa à cota de coroamento, executada com material de aterro e confinada do lado da ribeira com um muro de pedra argamassada.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos(DRIE); Construtora do Tâmega, S.A; LREC; AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	Construtora do Tâmega, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	6+700		<b>Cota Soleira [m]</b>		713,0	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	35000,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,40	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	94,63		<b>Cota Coroamento [m]</b>		725,5	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	2,10		<b>Número de aberturas [Un]</b>		14,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	210					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>		<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>	
Secção retangular chanfrada de forma circular com chapas metálicas a montante		<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	
		13,0	713,0	10,0	1,10	
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
10,0	15,5	12,75	10,0	15,5	38,08	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/laje</b>			
Indireta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	0,8	12,0	83,9	10,0	3,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm. Aço S275 (em chapas metálicos de 10 mm).					
<b>Encontros</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, (mínimo de 200 kg de cimento por m <sup>3</sup> ) a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão ciclópico tipo C20/25 com 70% de pedra sã com diâmetros entre 10 e 80 cm.					
<b>Fundação</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm, na laje de encaçamento e estacas (cofragem perdida).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

## Açude A6 - Desenhos de projeto

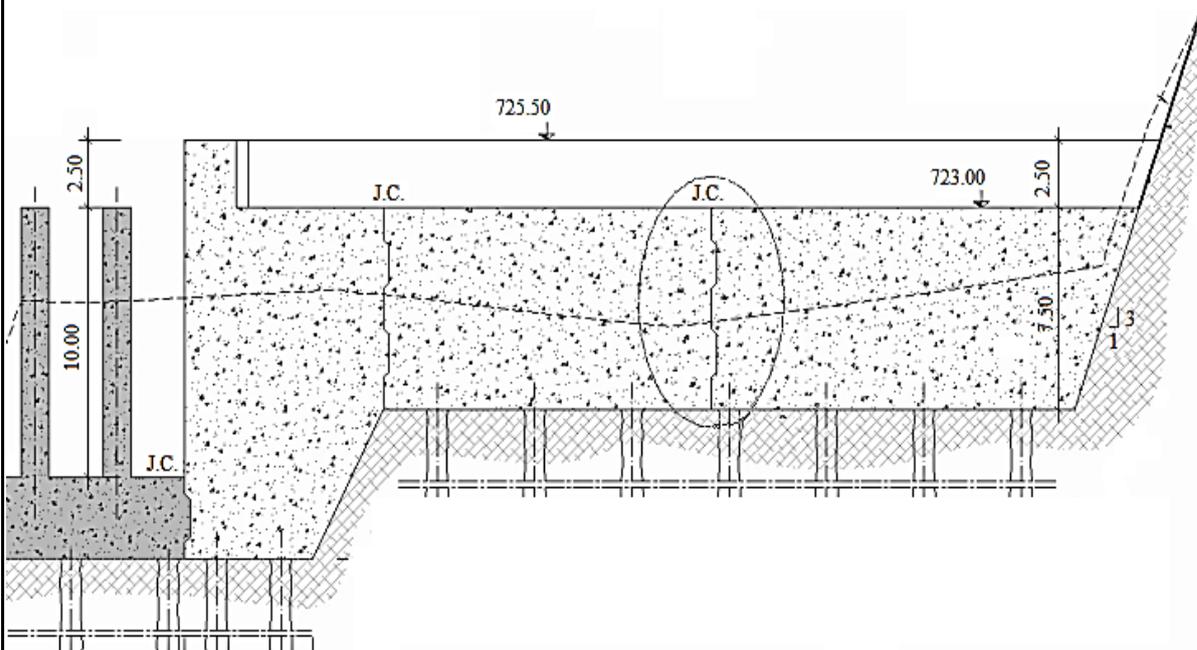


Figura A6.1: Vista parcial de jusante do açude A6 com encontro esquerdo (sem escala)

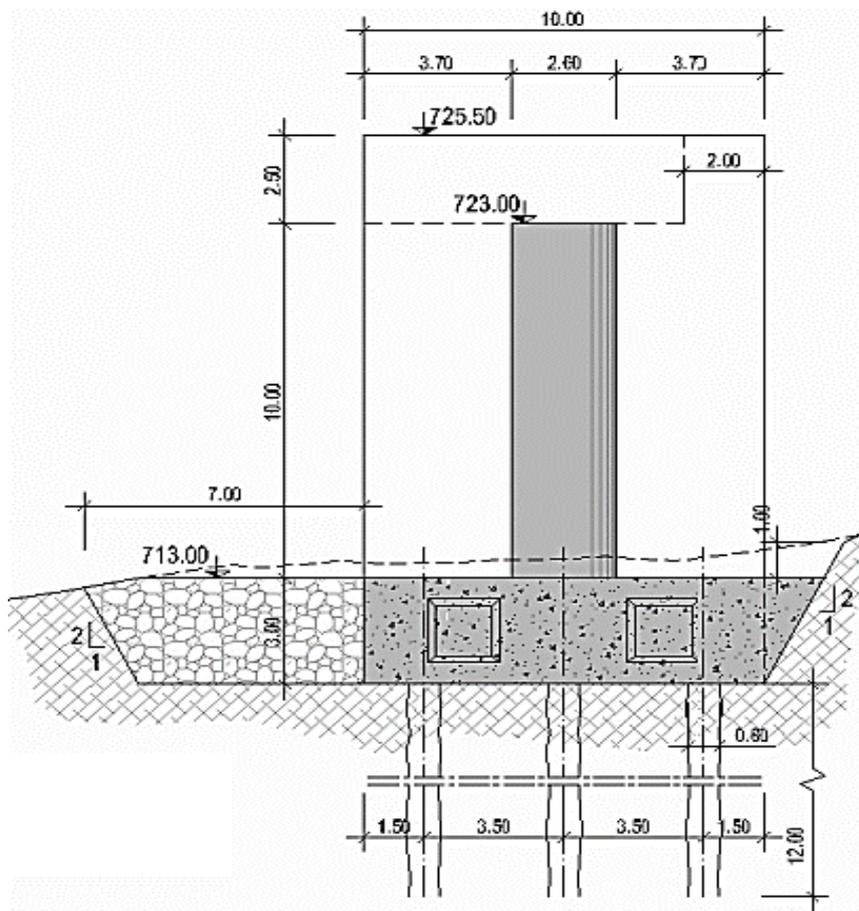


Figura A6.2: Perfil transversal do açude A6 (sem escala)

## Açude A6 - Desenhos de projeto

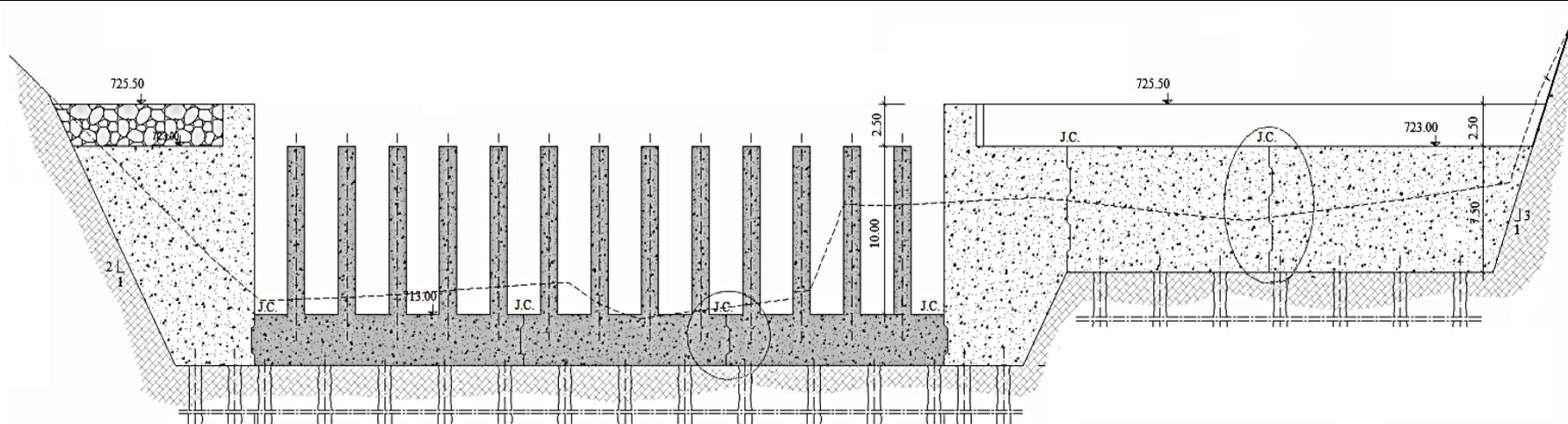


Figura A6.3: Vista de jusante do açude A6 (sem escala)

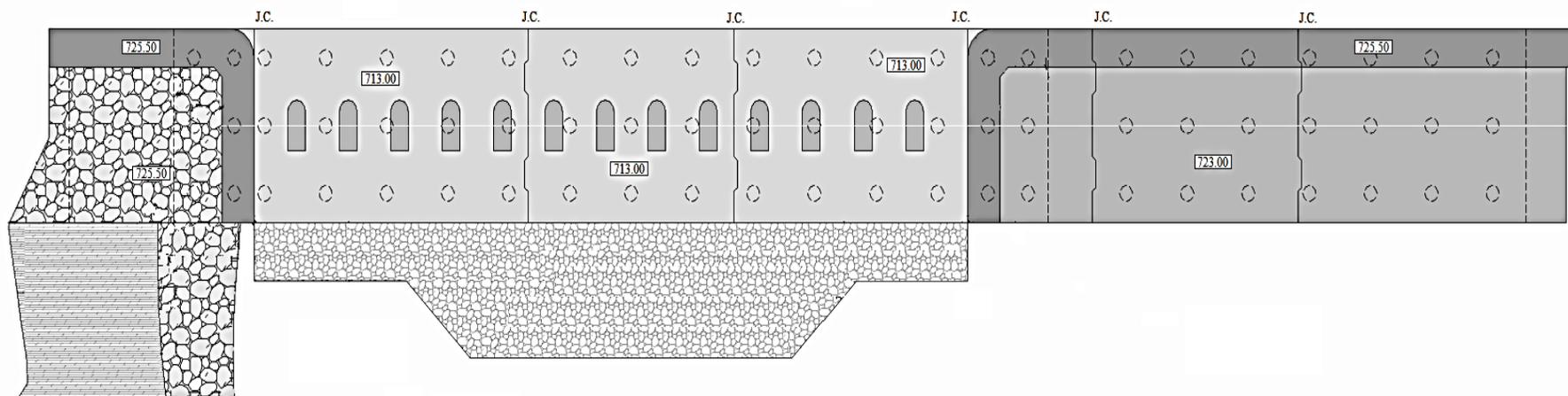


Figura A6.4: Vista em planta do açude A6 (sem escala)

## Açude A6 - Registo Fotográfico



Figura A6.5: Vista de jusante



Figura A6.6: Vista de montante

## Açude A6 - Registo Fotográfico

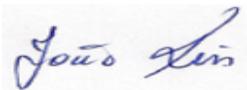


Figura A6.7: Acesso à albufeira à cota do encontro direito



Figura A6.8: Tapete de enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de São João – Construção dos Açudes A5 a A8				
Identificação da Estrutura	Açude A7				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°41'27.43"N	Cota	664,00
		Longitude	16°56'50.05"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A7 corresponde a uma estrutura aberta, do tipo pilar, em betão armado nos pilares e fundação e em betão ciclópico nos encontros, em que a secção central de descarga (entre encontros) de caudais atinge toda a sua altura e 47,1m de largura. A estrutura é dividida em 5 blocos - 3 para o bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte. Integra 19 pilares de grande inércia, construídos em betão armado e de secção retangular chanfrada a montante de forma circular de raio igual a metade da espessura do pilar. Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 20 aberturas, igualmente espaçadas entre os pilares. Todos os pilares têm 2,6m de comprimento. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,0m, sendo portanto de 2,0m. No entanto, a solução apresenta ligeiras adaptações relativamente às obtidas pela aplicação da metodologia subjacente, sendo o espaçamento de 1,5m. Os encontros têm paramento vertical até a cota de coroamento, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 2,0m de altura e 47,1m de largura. O encontro da margem esquerda inclui pregagens <math>\phi 25</math> A500NR com cerca de 6,0 m. A laje de fundação de onde saem os pilares tem 3,0m de espessura e constitui o maciço de encabeçamento das estacas, dispostas no comprimento do maciço e distanciadas de 3,6m e na largura de 3,5m. Nos encontros, a distância entre estacas varia em função do seu comprimento. A jusante do maciço de encabeçamento existe um tapete dissipação de energia, com enrocamento de proteção e encaminhamento de caudais em rocha sã com as dimensões de: <math>D_{max} = 2,0m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,5m</math>. O acesso é feito através do caminho existente na margem direita, que é interrompido pelo açude. A transposição do açude é conseguida através duma rampa à cota de coroamento, executada com material de aterro e confinada do lado da ribeira com um muro de pedra argamassada.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); Construtora do Tâmega, S.A; LREC; AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	Construtora do Tâmega, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	6+400		<b>Cota Soleira [m]</b>		664,0	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	33500,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,00	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	72,60		<b>Cota Coroamento [m]</b>		676,5	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	1,5		<b>Número de aberturas [Un]</b>		19,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	210					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>		<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>	
Secção retangular chanfrada de forma circular com chapas metálicas a montante		<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	
		20,0	664,0	10,0	0,90	
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
10,0	15,5	12,75	10,0	15,5	12,75	
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/laje</b>			
Indireta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	0,8	12,0	57,1	10,0	3,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm. Aço S275 (em chapas metálicas de 10 mm).					
<b>Encontros</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, (mínimo de 200 kg de cimento por m3) a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão ciclópico tipo C20/25 com 70% de pedra sã com diâmetros entre 10 e 80 cm.					
<b>Fundação</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm, na laje de encabeçamento e estacas (cofragem perdida).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

## Açude A7 - Desenhos de projeto

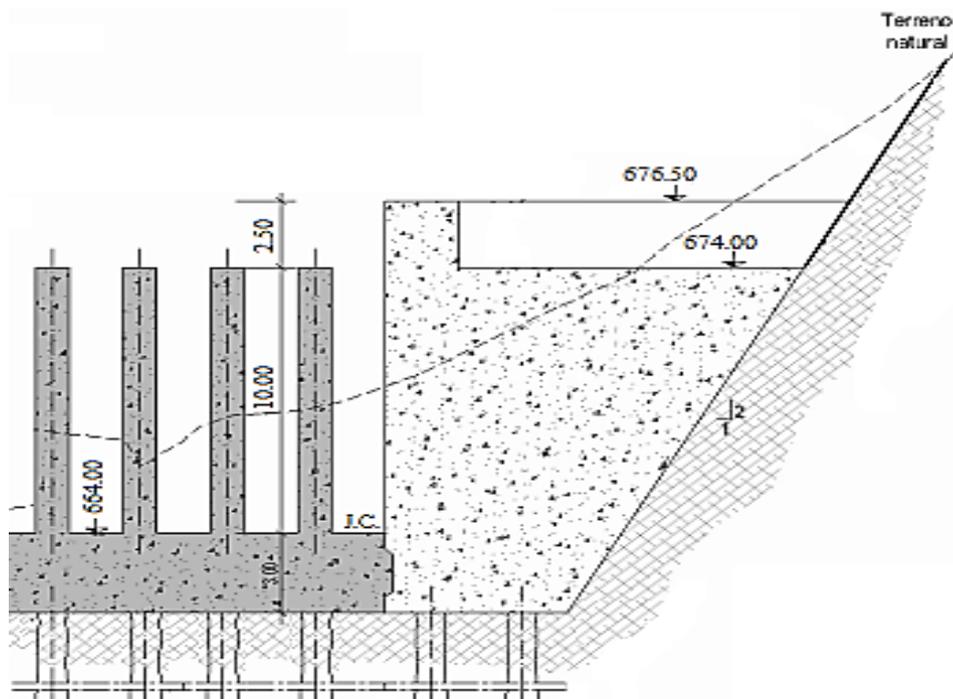


Figura A7.1: Vista parcial de jusante do açude A7 (sem escala)

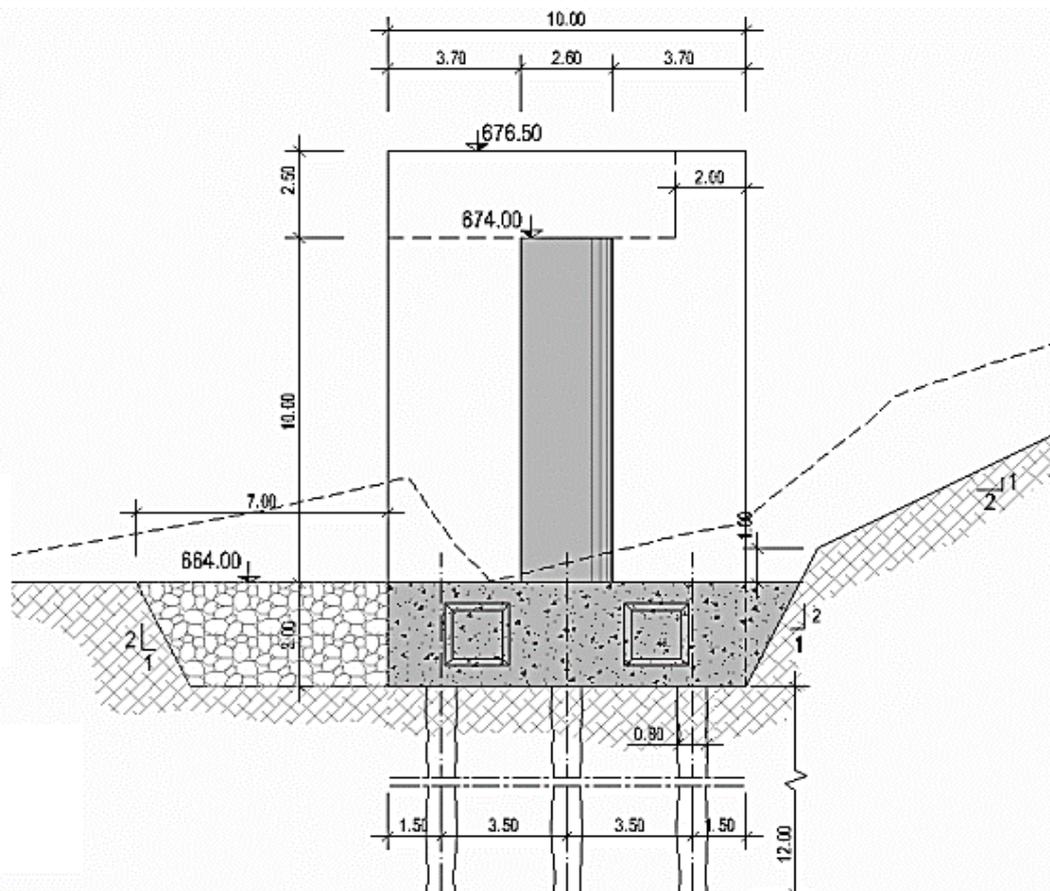


Figura A7.2: Perfil transversal do açude A7 (sem escala)

## Açude A7 - Desenhos de projeto

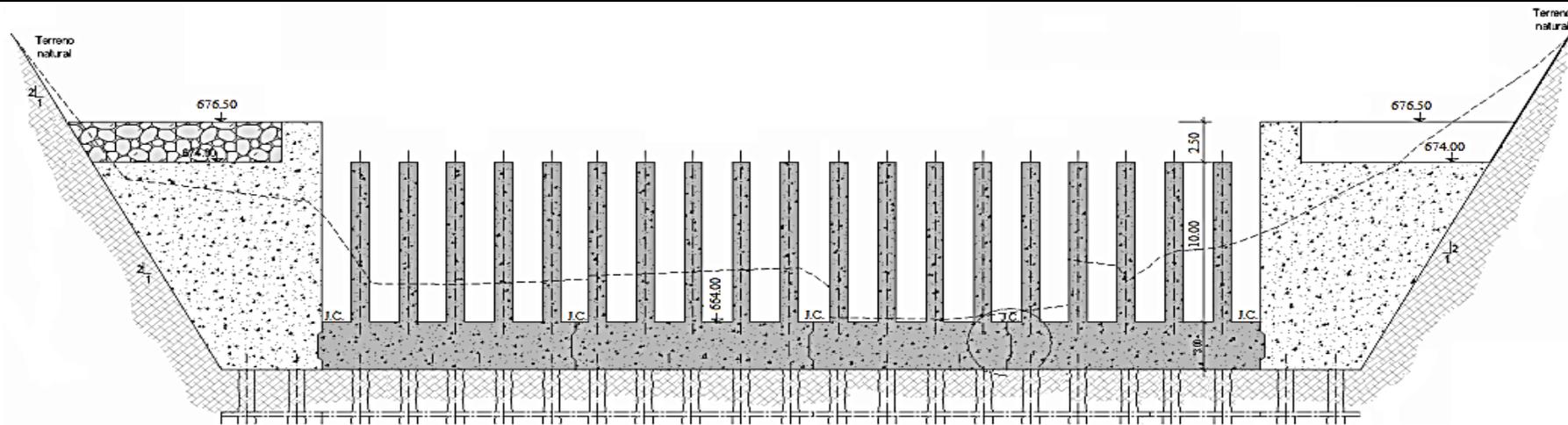


Figura A7.3: Vista de jusante do açude A7 (sem escala)

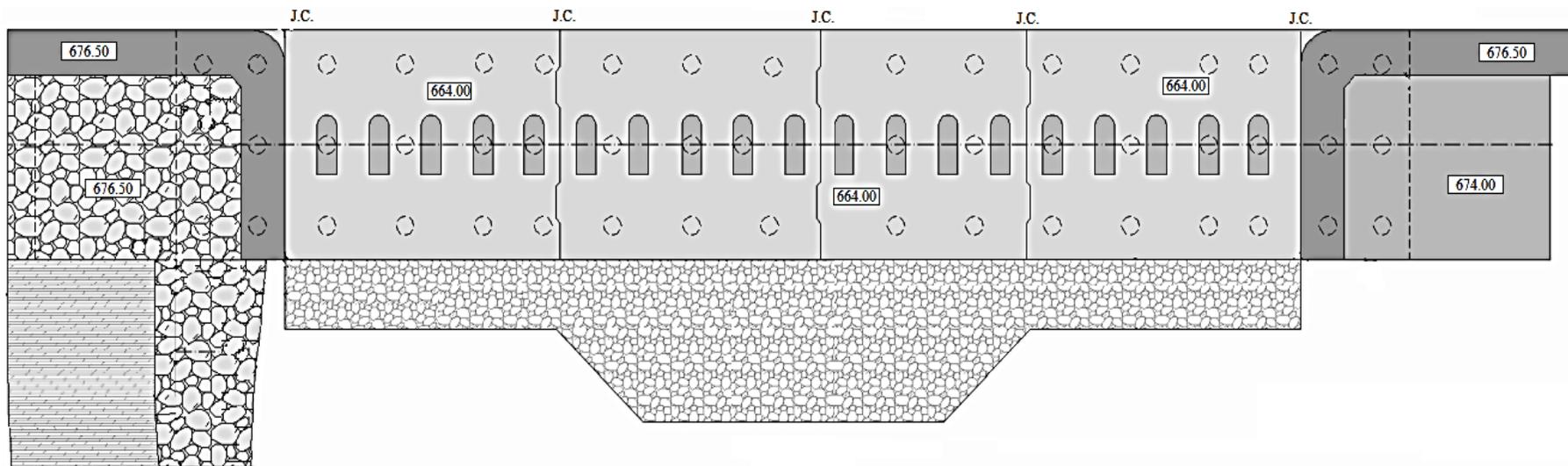


Figura A7.4: Vista em planta do açude A7 (sem escala)

## Açude A7 - Registo Fotográfico



Figura A7.5: Vista de jusante



Figura A7.6: Vista de montante

## Açude A7 - Registo Fotográfico

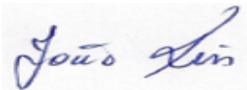


Figura A7.7: Passagem jusante/montante (e vice-versa) à cota superior e à direita



Figura A7.8: Tapete de enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de São João – Construção dos Açudes A5 a A8				
Identificação da Estrutura	Açude A8				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°41'30.48"N	Cota	532,00
		Longitude	16°56'90.90"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A8 corresponde a uma estrutura aberta, do tipo pilar, em betão armado nos pilares e fundação e em betão ciclópico nos encontros, em que a secção central de descarga (entre encontros) de caudais atinge toda a sua altura e 20,7m de largura. A estrutura é dividida em 3 blocos - 1 para o bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte. Integra 10 pilares de grande inércia, construídos em betão armado e de secção retangular chanfrada a montante de forma circular de raio igual a metade da espessura do pilar. Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 11 aberturas, igualmente espaçadas entre os pilares, estes com 2,6m de comprimento. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 0,5m, sendo portanto de 1,0m. No entanto, a solução apresenta ligeiras adaptações relativamente às obtidas pela aplicação da metodologia subjacente, sendo o espaçamento de 1,35m. Os encontros têm paramento vertical até a cota de coroamento, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 4,0m de altura e 20,7m de largura. O encontro da margem esquerda inclui pregagens <math>\phi 25</math> A500NR com cerca de 6,0 m. A laje de fundação de onde saem os pilares tem 3,0m de espessura e constitui o maciço de encabeçamento das estacas, dispostas no comprimento do maciço e distanciadas de 3,6m e na largura de 3,5m. Nos encontros, a distância entre estacas varia em função do seu comprimento. A jusante do maciço de encabeçamento existe um tapete dissipação de energia, com enrocamento de proteção e encaminhamento de caudais em rocha sã com as dimensões de: <math>D_{max} = 2,0m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,5m</math>. O acesso à albufeira do açude A8 será efetuado com base no caminho existente na margem direita, o qual não será interrompido pela estrutura do açude.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); Construtora do Tâmega, S.A; LREC; AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	Construtora do Tâmega, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	5+600		<b>Cota Soleira [m]</b>		532,00	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	8000,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		0,5	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	43,90		<b>Cota Coroamento [m]</b>		544,00	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	1,35		<b>Número de aberturas [Un]</b>		11,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	210					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>		<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>	
Secção retangular chanfrada de forma circular com chapas metálicas a montante		<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	
		10,0	532,00	8,0	0,90	
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
10,0	15,0	11,2	10,0	15,0	9,0	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/laje</b>			
Indireta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	0,8	12,0	32,2	10,0	3,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm. Aço S275 (em chapas metálicos de 10 mm).					
<b>Encontros</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, (mínimo de 200 kg de cimento por m3) a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão ciclópico tipo C20/25 com 70% de pedra sã com diâmetros entre 10 e 80 cm.					
<b>Fundação</b>	Betão C16/20 X0 Cl 1,0, a empregar na regularização e selagem da base das fundações; Betão armado: Betão C30/37 XC4 Cl 0,4 Dmax50 S3 (NP EN 206-1:2007); Aço A500NR SD (em varão) com recobrimento de 7 cm, na laje de encabeçamento e estacas (cofragem perdida).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

## Açude A8 - Desenhos de projeto

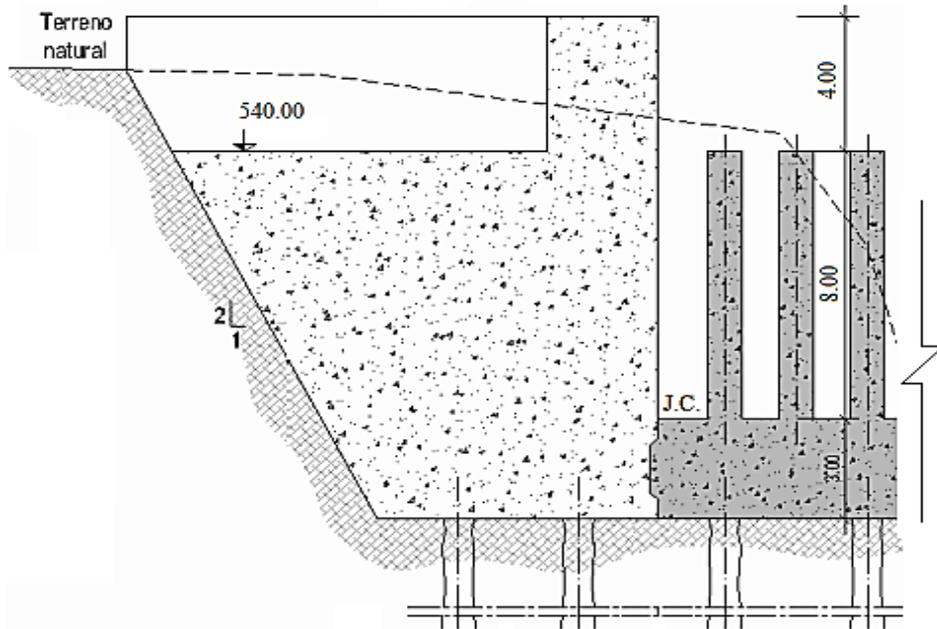


Figura A8.1: Vista parcial de jusante do açude A8 (sem escala)

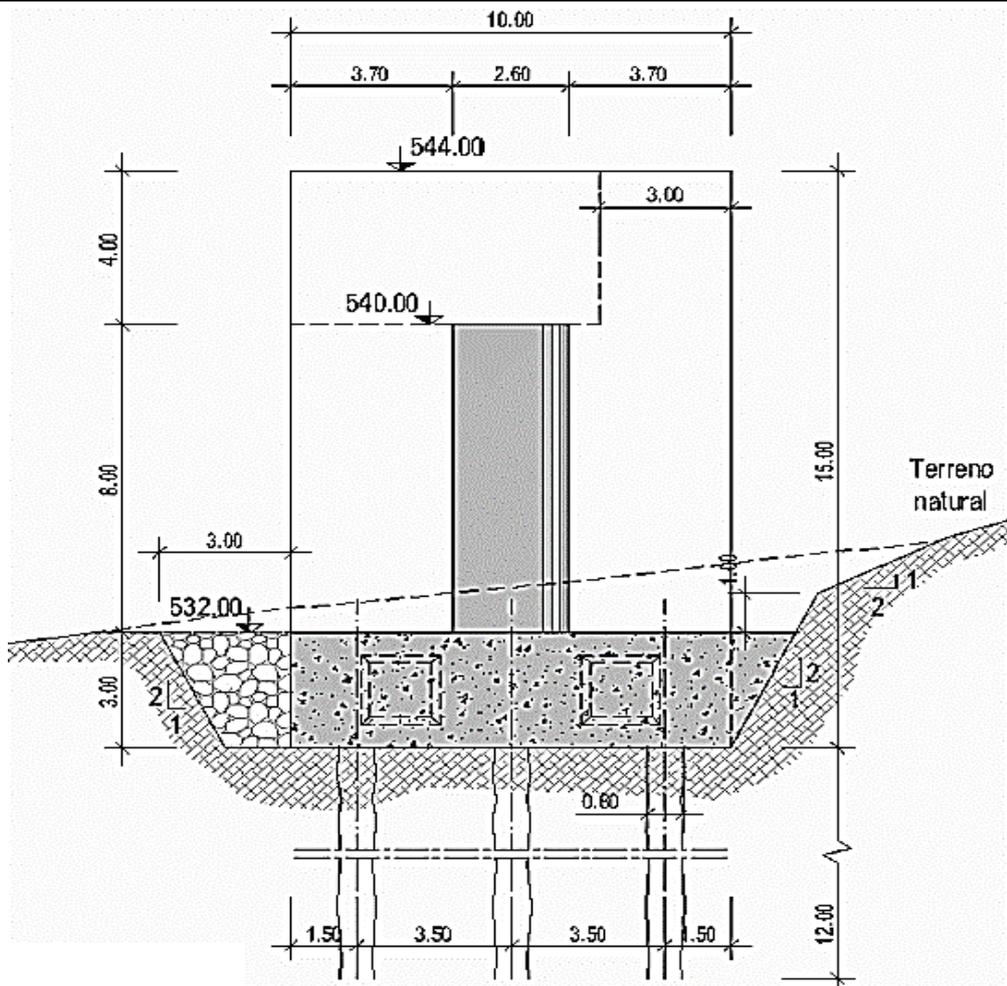


Figura A8.2: Perfil transversal do açude A8 (sem escala)

### Açude A8 - Desenhos de projeto

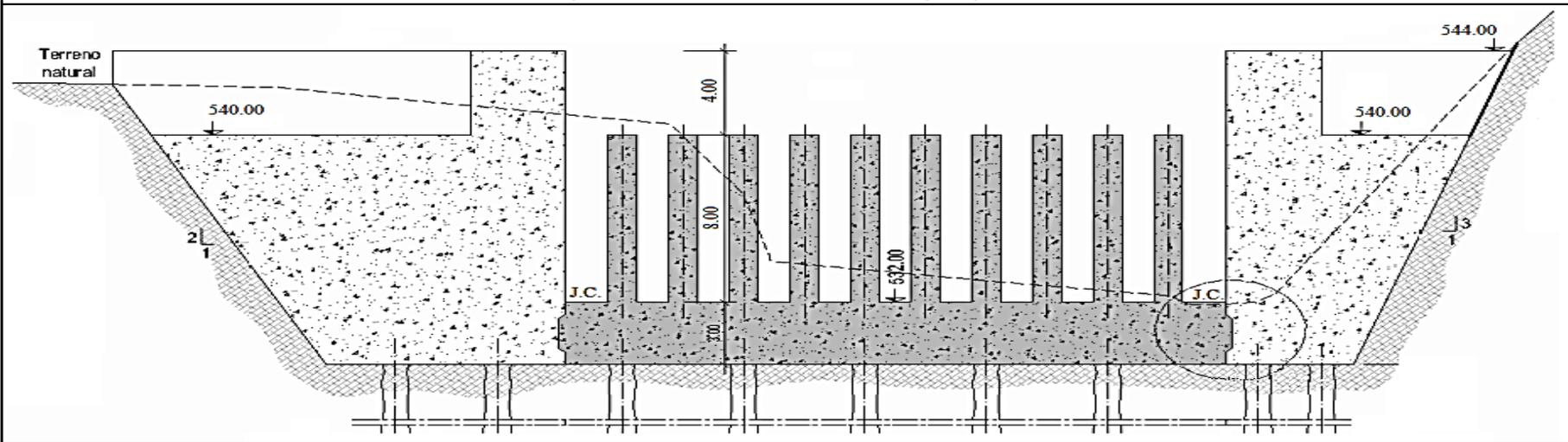


Figura A8.3: Vista de jusante do açude A8 (sem escala)

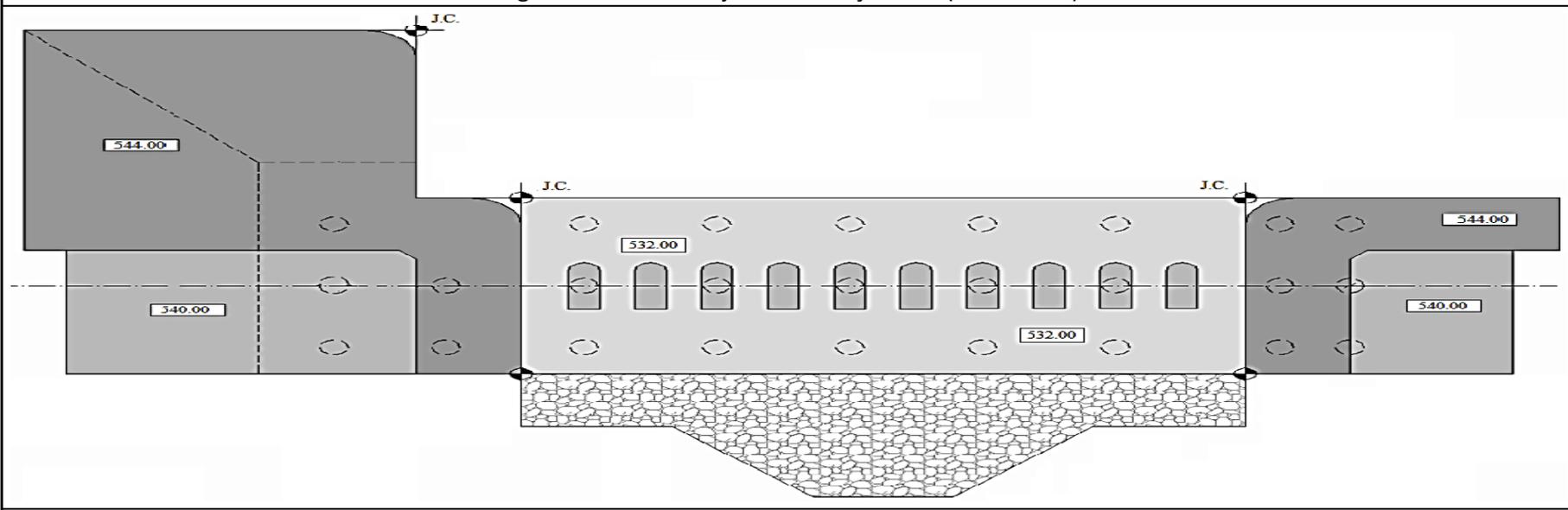


Figura A8.4: Vista em planta do açude A8 (sem escala)

## Açude A8 - Registo Fotográfico



Figura A8.5: Vista de jusante



Figura A8.6: Vista de montante

## Açude A8 - Registo Fotográfico

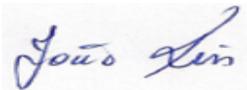


Figura A8.7: Encontros e pilares com chapas metálicas de proteção



Figura A8.8: Tapete de enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de Santa Luzia – Construção dos Açudes A1 a A4 e da Ponte dos Tornos				
Identificação da Estrutura	Açude A1				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°41'43.67"N	Cota	612,00
		Longitude	16°55'30.54"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A1 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 5 blocos - 3 destes no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo. Integra 15 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0.25 (V:H) entre as cotas 622,0 e 617,5, 1:1 (V:H) entre as cotas 617,5 e 615,0 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 615,0 e 612,0. A jusante, entre as cotas 622,0 e 617,5 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 617,5 até à cota 612,0 correspondendo à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H). Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 16 aberturas, das quais 15 com 2,0m e uma com 3,0m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 0,5m, sendo portanto de 1,0m. Os encontros em L, incorporam muros de proteção e de encaminhamento dos caudais para o tapete de dissipação de energia, ao longo de uma extensão de 3,0m e seguem no alinhamento dos pilares. Entre as cotas 622,0 (topo dos pilares) e 625,0 (cota de coromento) surge o descarregador superior de superfície com 3,0m de altura, apresentando uma secção trapezoidal com uma largura máxima de 47,25m. A jusante do açude existe um tapete de dissipação de energia e que também serve de enrocamento à laje de encabeçamento e fundação. O tapete tem 1,5m de espessura, sendo a dimensão dos blocos (enrocamento) as seguintes: <math>D_{max} = 1,2m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>, numa extensão de 20,0m. A laje de fundação tem 2,0m de espessura, existindo um espessamento de 1,0m a jusante, capaz de lhe conferir um encastramento junto ao tapete de dissipação de energia.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A; LREC.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	6+456		<b>Cota Soleira [m]</b>		612,0	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	21800,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		0,5	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	66,05		<b>Cota Coroamento [m]</b>		625,0	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	1,0		<b>Número de aberturas [Un]</b>		16,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			15,0	612,0	10,0	1,75
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
14,5	13,0	5,5	14,5	13,0	13,3	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/Laje</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	44,25	14,5	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A1 - Desenhos de projeto

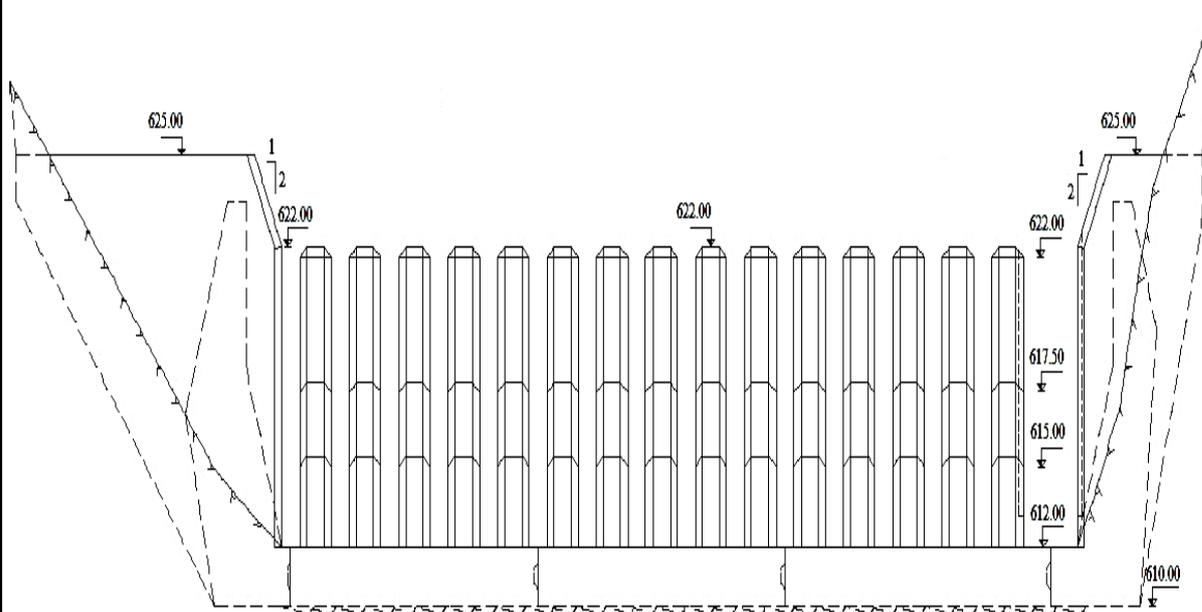


Figura A1.1: Vista de montante do açude A1 (sem escala)

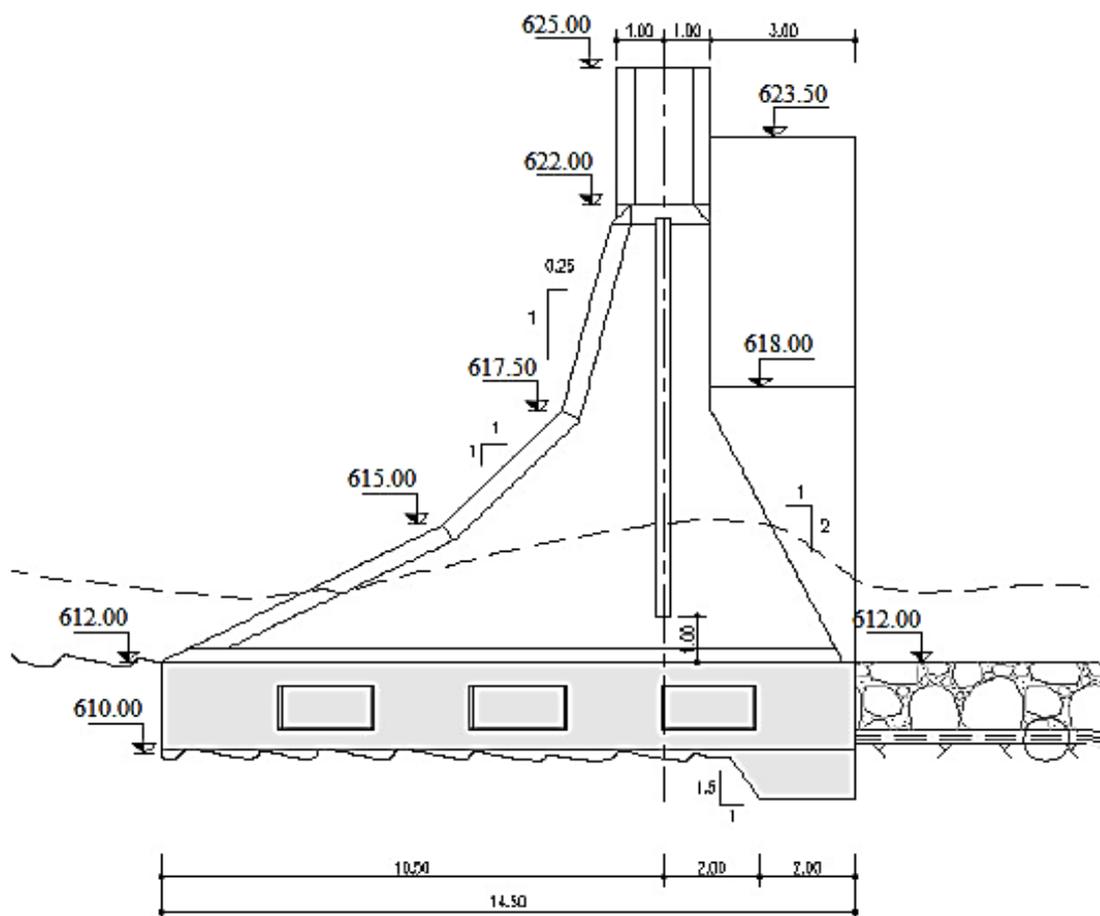


Figura A1.2: Perfil transversal do açude A1 (sem escala)

## Açude A1 - Desenho de projeto

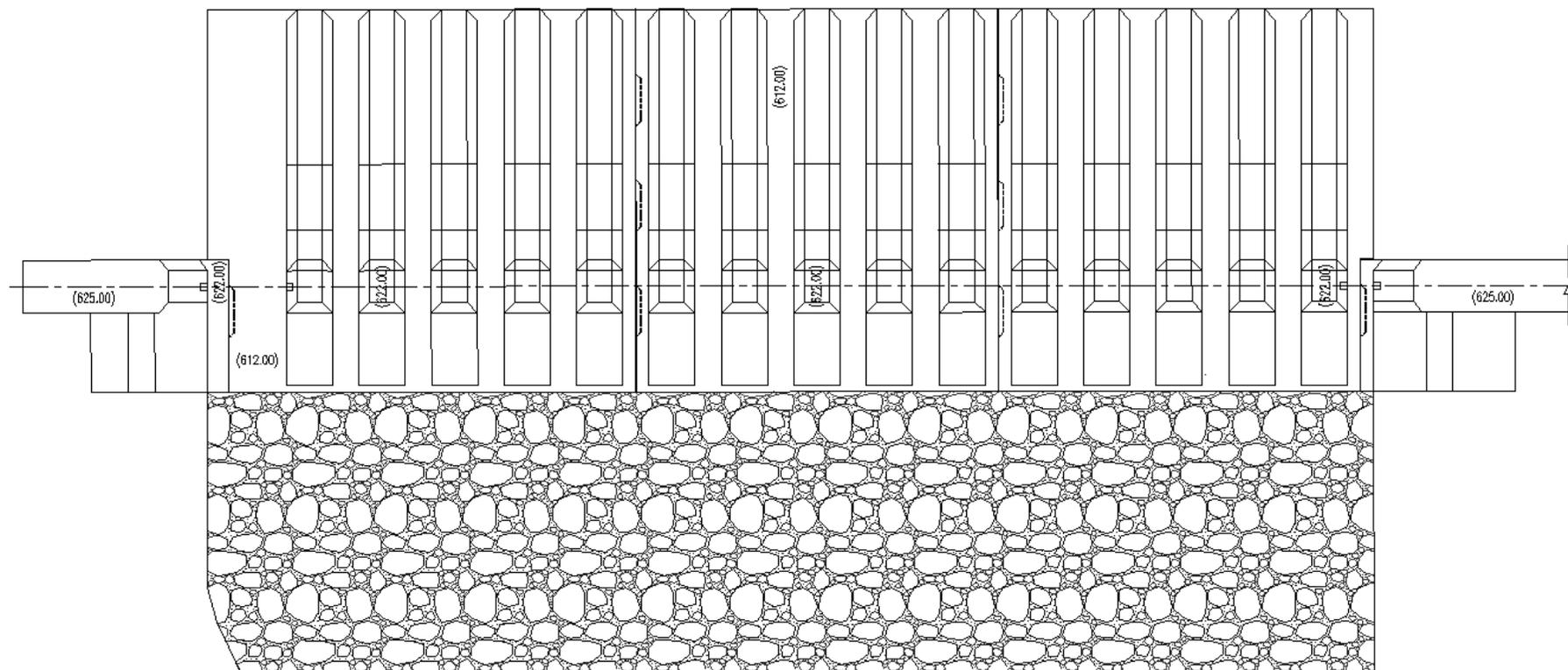


Figura A1.3: Planta do açude A1 - ribeira Santa Luzia (sem escala)

## Açude A1 - Registo Fotográfico



Figura A1.4: Vista de jusante



Figura A1.5: Vista de montante

## Açude A1 - Registo Fotográfico

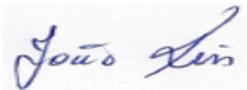


Figura A1.6: Encontro direito, com abertura de 3 metros



Figura A1.7: Tapete de enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA				
<b>Designação da Empreitada</b>	Reabilitação e Regularização da Ribeira de Santa Luzia – Construção dos Açudes A1 a A4 e da Ponte dos Tornos					
<b>Identificação da Estrutura</b>	Açude A2					
<b>Localização</b>	<b>Concelho</b>	Funchal				
	<b>Coordenadas</b>	Latitude	32°41'48.87"N		<b>Cota</b>	639,00
		Longitude	16°55'90.39"W			
<b>Imagem do Local</b>						
						
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>						
<p>O açude A2 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 5 blocos - 3 destes no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo. Integra 10 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0.25 (V:H) entre as cotas 649,0 e 644,5, 1:1 (V:H) entre as cotas 644,5 e 642,0 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 642,0 e 639,0. A jusante, entre as cotas 649,0 e 644,5 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 644,5 até à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H). Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 11 aberturas, das quais 10 com 2,0m e uma com 3,0m situada junto ao encontro esquerdo, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 0,8m, sendo portanto de 1,6m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. O encontro direito, a montante inclina a 0.7:1 (V:H) abaixo da cota 649,0 e a jusante inclina a 2:1 (V:H) abaixo da cota 644,5. Acima desta cotas, o paramento é vertical. O encontro esquerdo inclui um muro de proteção e de encaminhamento dos caudais para o tapete de dissipação de energia, com comprimento de 3,0m. Parte do encontro direito e o conjunto dos pilares formam o descarregador de superfície superior, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima da cota 649,0 de 3,0m de altura. Para jusante, a partir da laje de fundação, os caudais são encaminhados para o tapete de dissipação de energia e que também tem a função de enrocamento desta laje. O tapete tem 1,7m de espessura, sendo a dimensão dos blocos (enrocamento) as seguintes: <math>D_{max} = 1,3m</math>, <math>D_{50} = 1,1m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>, numa extensão de 20,0m. A laje de fundação tem 2,0m de espessura, existindo um espessamento de 1,0m a jusante, capaz de lhe conferir um encastramento junto ao tapete de dissipação de energia.</p>						
<b>Entidades Consultadas</b>	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos(DRIE); AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A; LREC.					

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	6+700		<b>Cota Soleira [m]</b>		639,00	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	24150,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		0,8	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	62,25		<b>Cota Coroamento [m]</b>		652,0	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	1,6		<b>Número de aberturas [Un]</b>		11,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>		<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>	
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia		<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	
		10,0	639,0	10,0	1,75	
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
14,5	13,0	11,55	14,5	13,0	6,8	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/Laje</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	46,55	14,5	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

## Açude A2 - Desenhos de projeto

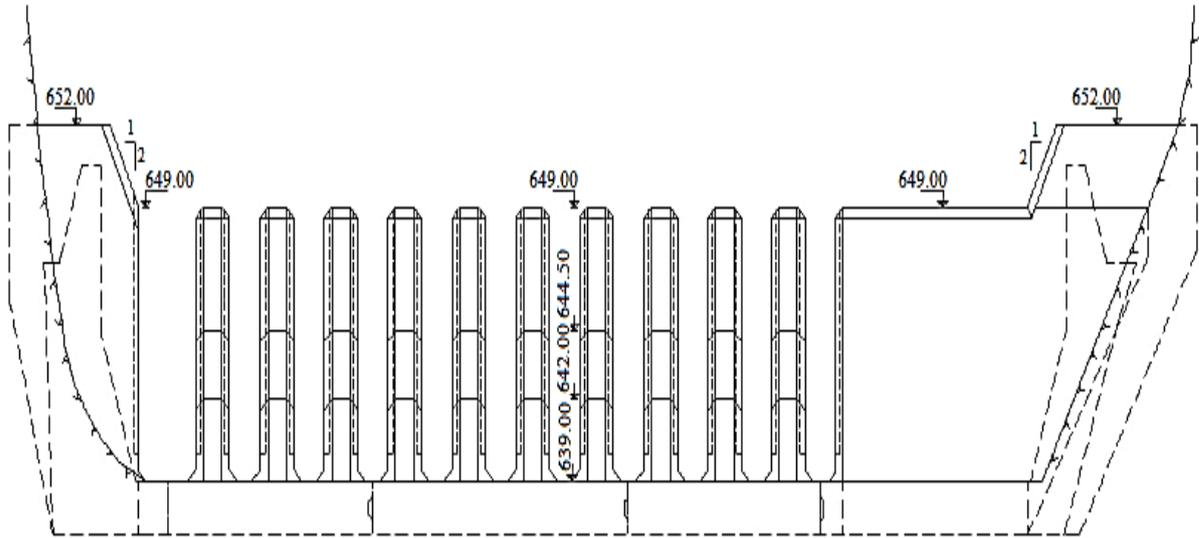


Figura A2.1: Vista de montante do açude A2 (sem escala)

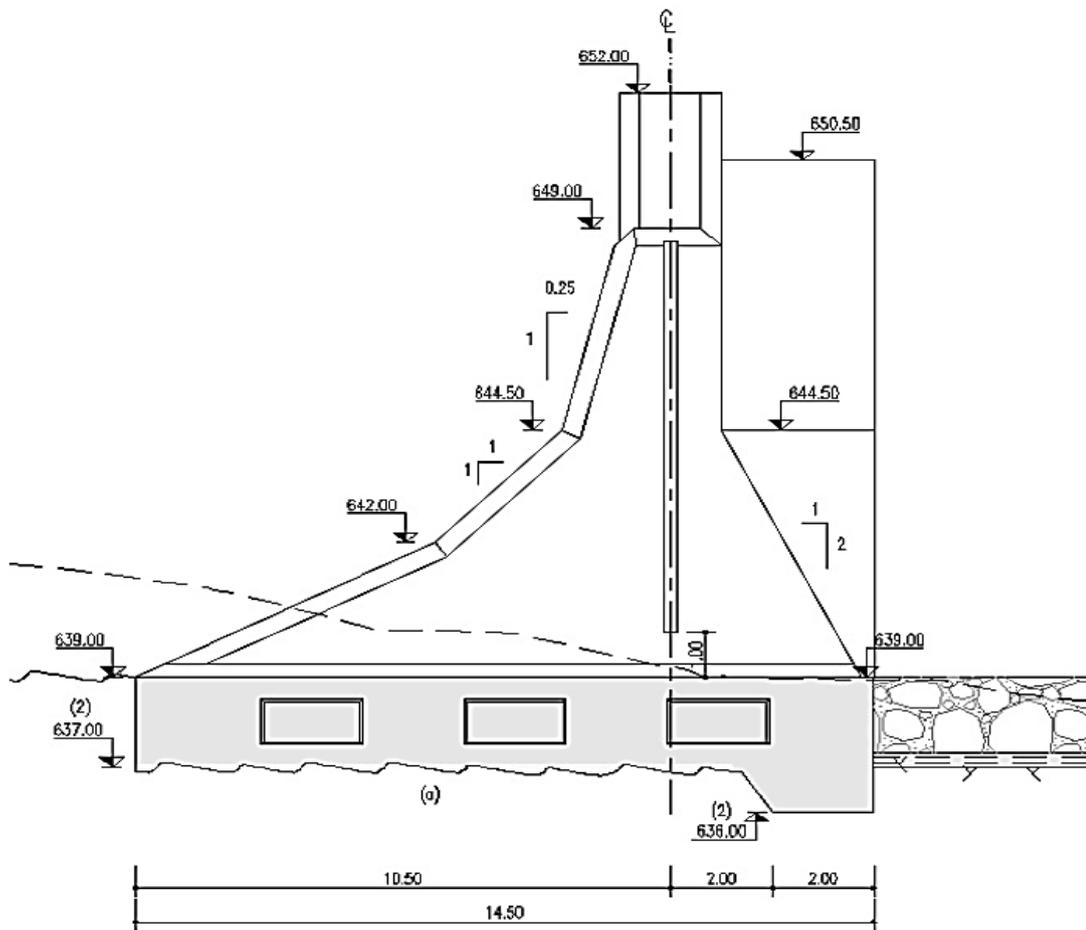


Figura A2.2: Perfil transversal do açude A2 (sem escala)

## Açude A2 - Desenho de projeto

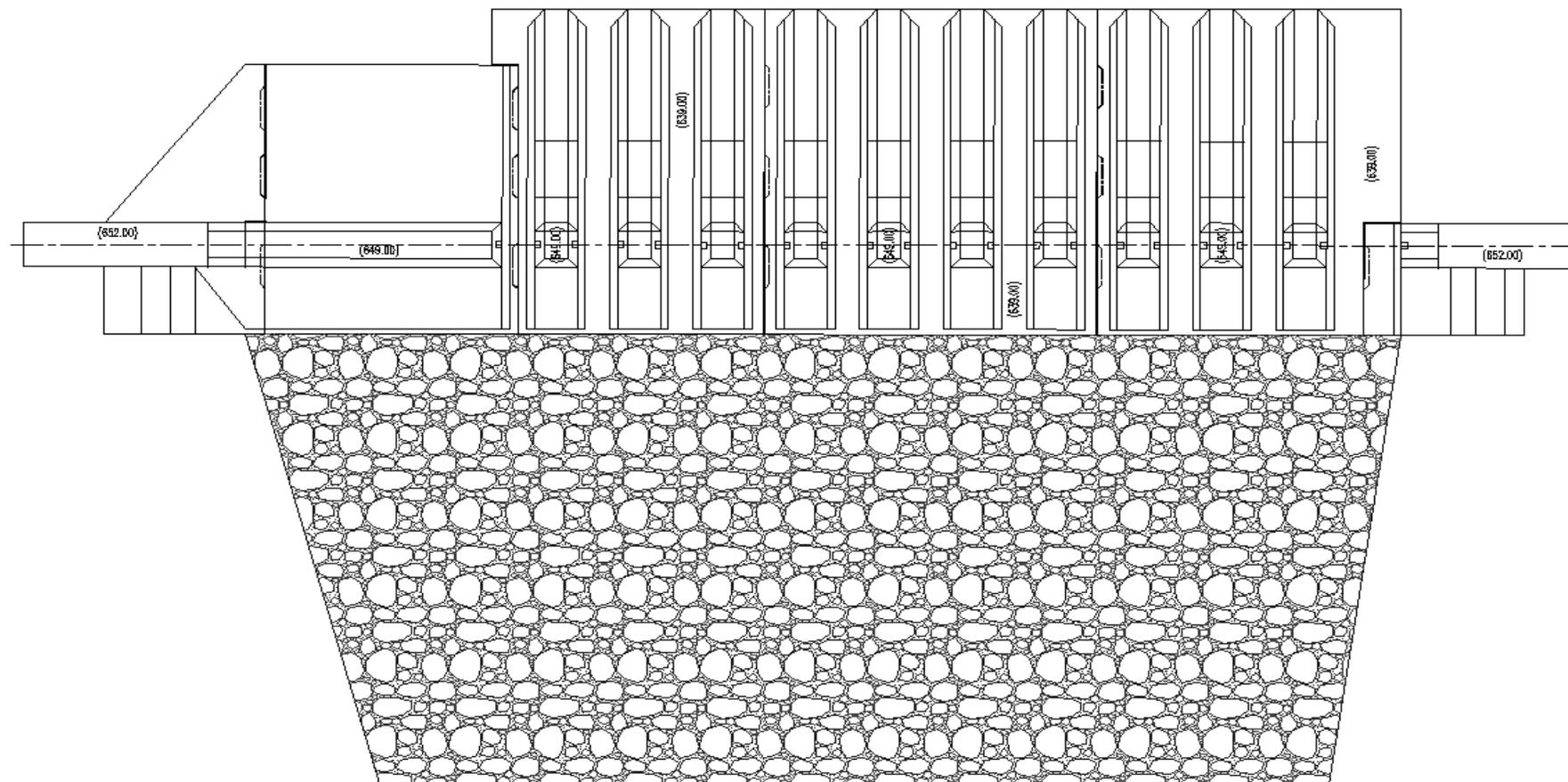


Figura A2.3: Planta do açude A2 - ribeira Santa Luzia (sem escala)

## Açude A2 - Registo Fotográfico



Figura A2.4: Vista de jusante



Figura A2.5: Vista de montante

## Açude A2 - Registo Fotográfico

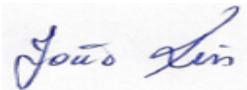


Figura A2.6: Encontro direito, onde se situa o equipamento de monitorização



Figura A2.7: Passagem de 3 metros junto ao encontro esquerdo

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de Santa Luzia – Construção dos Açudes A1 a A4 e da Ponte dos Tornos				
Identificação da Estrutura	Açude A3				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°42'00.83"N	Cota	698,00
		Longitude	16°55'16.30"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A3 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura - secção central de descarga inferior. A estrutura é dividida em 5 blocos - 3 destes no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo. Integra 9 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0.25 (V:H) entre as cotas 708,0 e 703,5, 1:1 (V:H) entre as cotas 703,5 e 701,0 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 701,0 e 698,0. A jusante, entre as cotas 708,0 e 703,5 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 703,5 até à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H) à cota 698,0. Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 10 aberturas, das quais 9 com 2,0m e uma com 3,0m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,0m, sendo portanto de 2,0m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. Os encontros seguem o alinhamento dos pilares, têm um paramento vertical até a altura máxima dos pilares, inclinando (2:1) - (V:H) a partir daqui até à cota 711,5, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 3,5m de altura, correspondendo ao descarregador superior de superfície com 47,25m de largura máxima. A jusante do encontro esquerdo existe um muro de proteção do talude de escavação e também de proteção do maciço rochoso e seguem a laje de encabeçamento dos pilares. No encontro direito a proteção do talude é feita com betão projetado. Estas proteções encaminham os caudais para o tapete de dissipação de energia que também serve de enrocamento à laje de encabeçamento e fundação. O tapete tem 1,5m de espessura, sendo a dimensão dos blocos (enrocamento) as seguintes: <math>D_{max} = 1,2m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>, numa extensão de 20,0m. A laje de fundação tem 2,0m de espessura com espessamento de 1,0m a jusante.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos(DRIE); AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A; LREC.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	7+150		<b>Cota Soleira [m]</b>		698,00	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	11150,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,0	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	50,0		<b>Cota Coroamento [m]</b>		711,50	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	2,0		<b>Número de aberturas [Un]</b>		10,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			9,0	698,00	10,0	1,75
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
14,5	13,5	7,25	14,5	13,5	6,00	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/Laje</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	40,75	14,5	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A3 - Desenhos de projeto

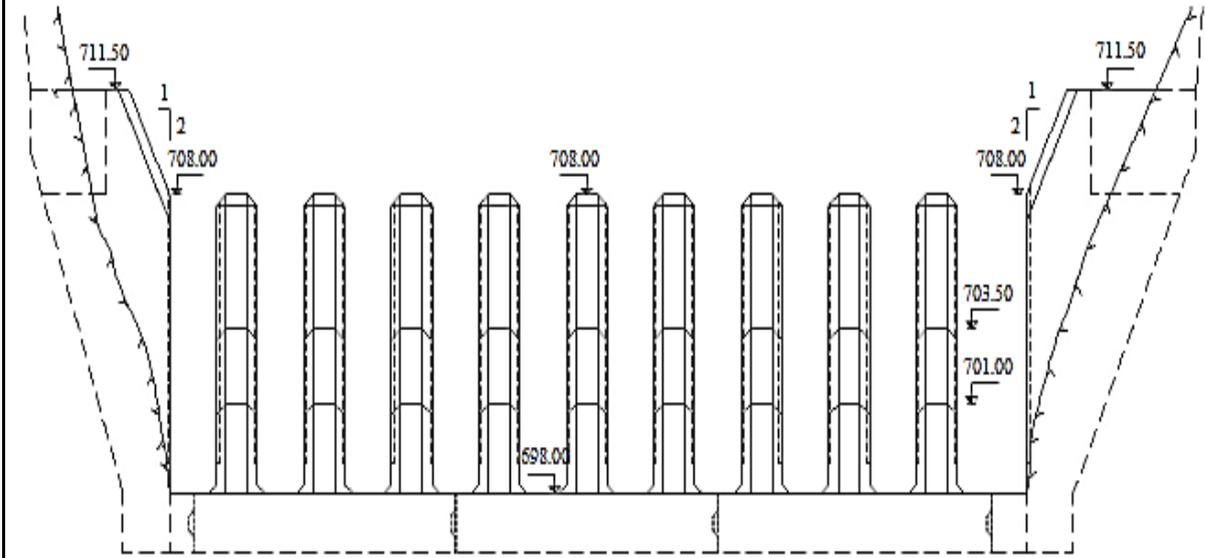


Figura A3.1: Vista de montante do açude A3 (sem escala)

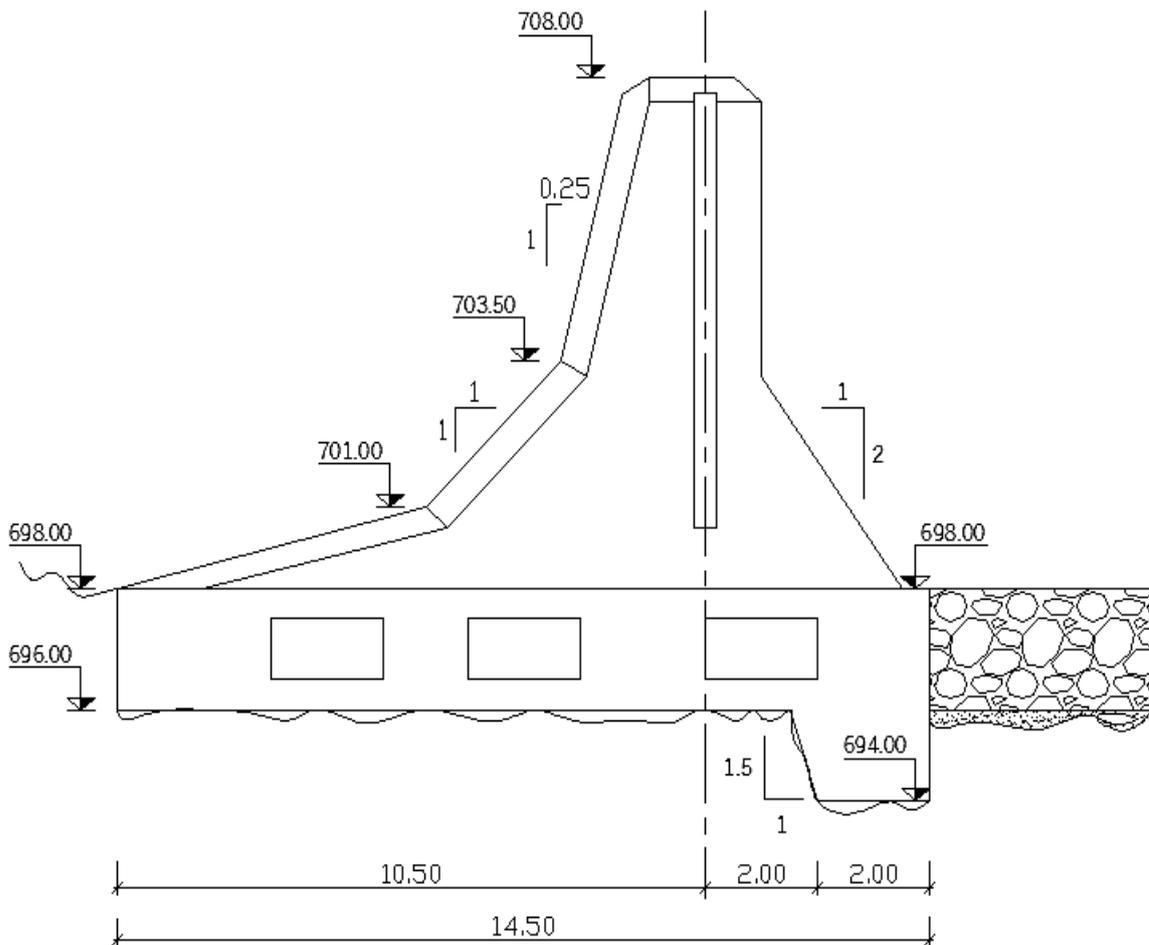


Figura A3.2: Perfil transversal do açude A3 (sem escala)

# Açude A3 - Desenho de projeto

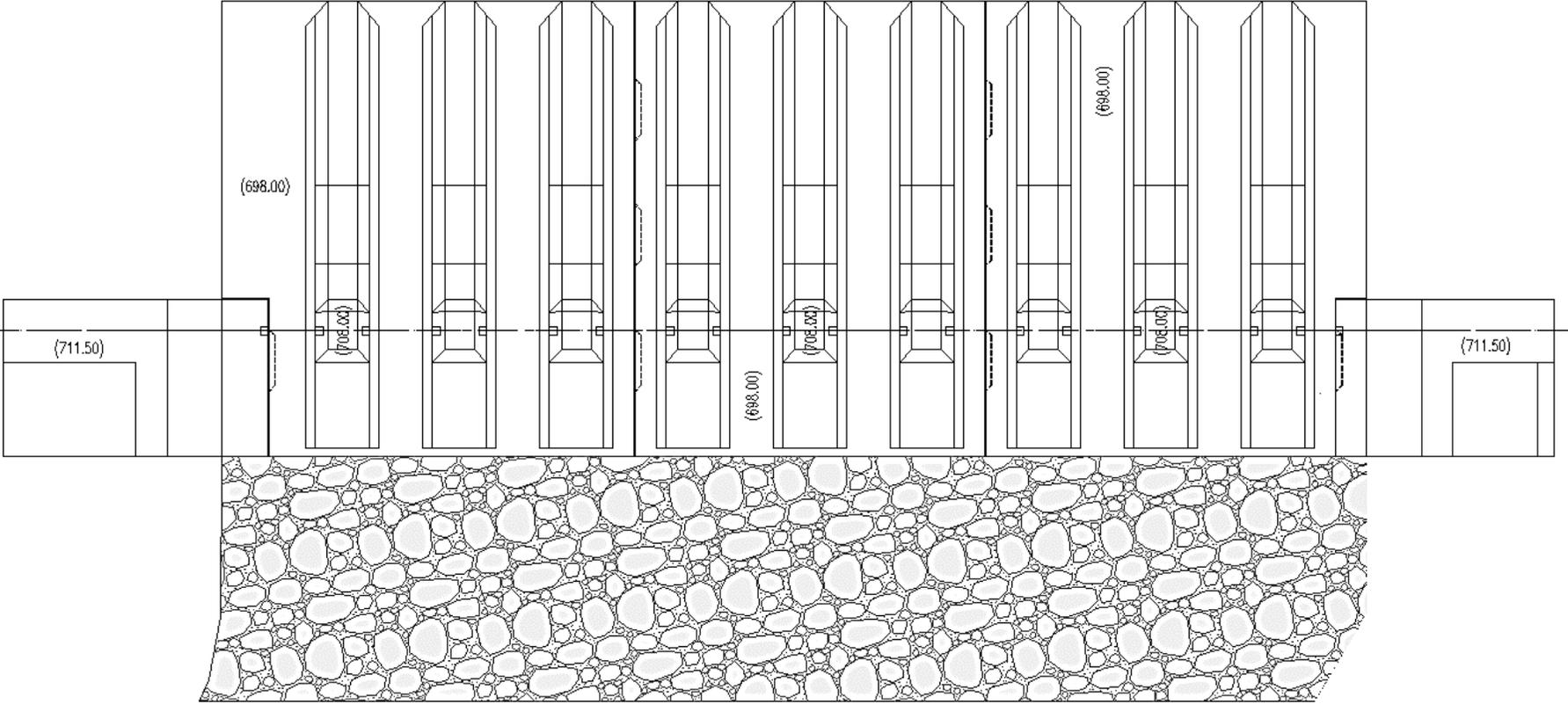


Figura A3.3: Planta do açude A3 - ribeira João Gomes (sem escala)

## Açude A3 - Registo Fotográfico



Figura A3.4: Vista de jusante



Figura A3.5: Vista de montante

## Açude A3 - Registo Fotográfico

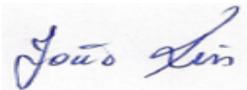


Figura A3.6: Encontro direito, com abertura de 3 metros



Figura A3.7: Tapete de enrocamento a jusante e encontro esquerdo

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA		
<b>Designação da Empreitada</b>	Reabilitação e Regularização da Ribeira de Santa Luzia – Construção dos Açudes A1 a A4 e da Ponte dos Tornos			
<b>Identificação da Estrutura</b>	Açude A4			
<b>Localização</b>	<b>Concelho</b>	Funchal		
	<b>Coordenadas</b>	Latitude	32°42'80.23"N	<b>Cota</b>
		Longitude	16°55'17.29"W	
<b>Imagem do Local</b>				
				
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>				
<p>O açude A4 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 5 blocos - 3 destes no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo. Integra 10 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0.25 (V:H) entre as cotas 746,0 e 741,5, 1:1 (V:H) entre as cotas 741,5 e 739,0 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 739,0 e 736,0. A jusante, entre as cotas 746,0 e 741,5 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 741,5 até à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H). Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 11 aberturas, das quais 10 com 2,0m e uma com 3,0m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,0m, sendo portanto de 2,0m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. Os encontros seguem o alinhamento dos pilares, têm um paramento vertical até a altura máxima dos pilares, inclinando (2:1) a partir daqui até à cota 749,0, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 3,0m de altura. A montante e jusante dos encontros existem muros de apoio ao enrocamento de proteção dos taludes de escavação e também de proteção do maciço rochoso e seguem a laje de encabeçamento dos pilares. Para jusante, o muro encaminha os caudais para o tapete de dissipação de energia e que também serve de enrocamento à laje de encabeçamento e fundação. O tapete tem 1,5m de espessura, sendo a dimensão dos blocos (enrocamento) as seguintes: <math>D_{max} = 1,2m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>, numa extensão de 20,0m.</p>				
<b>Entidades Consultadas</b>	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A; LREC.			

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	AFAVIAS - Engenharia e Construções, S.A.					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	7+409		<b>Cota Soleira [m]</b>		736,0	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	11150,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,0	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	60,3		<b>Cota Coroamento [m]</b>		749,0	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	2,0		<b>Número de aberturas [Un]</b>		11,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			10,0	736,0	10,0	1,75
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
14,5	13,0	13,0	14,5	13,0	6,8	Sim
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração/laje</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	45,5	14,5	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

## Açude A4 - Desenhos de projeto

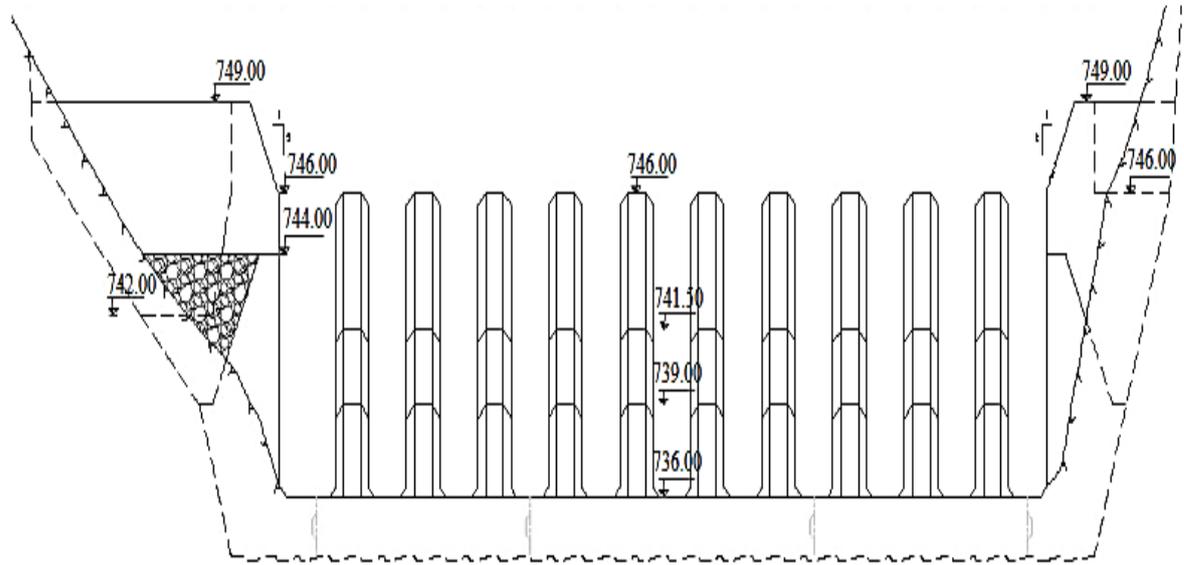


Figura A4.1: Vista de montante do açude A4 (sem escala)

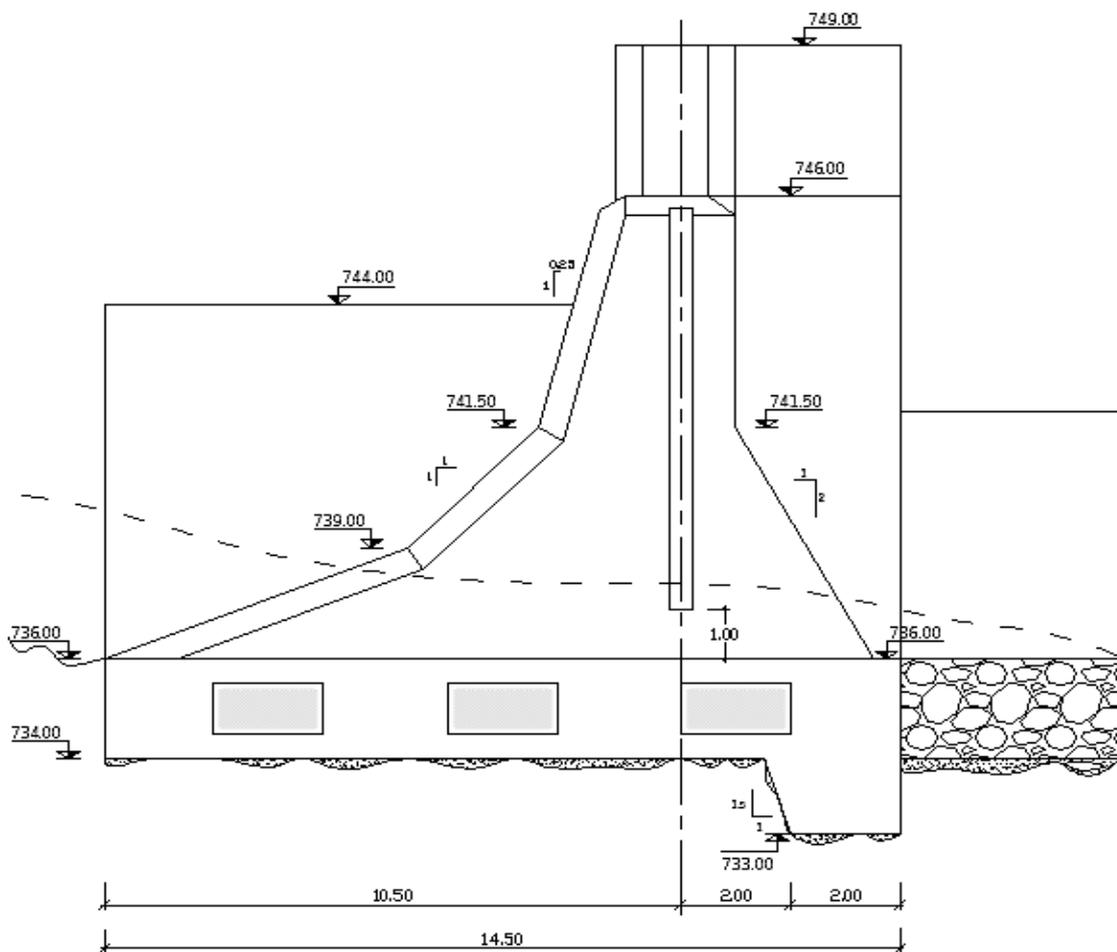


Figura A4.2: Perfil transversal do açude A4 (sem escala)

## Açude A4 - Desenho de projeto

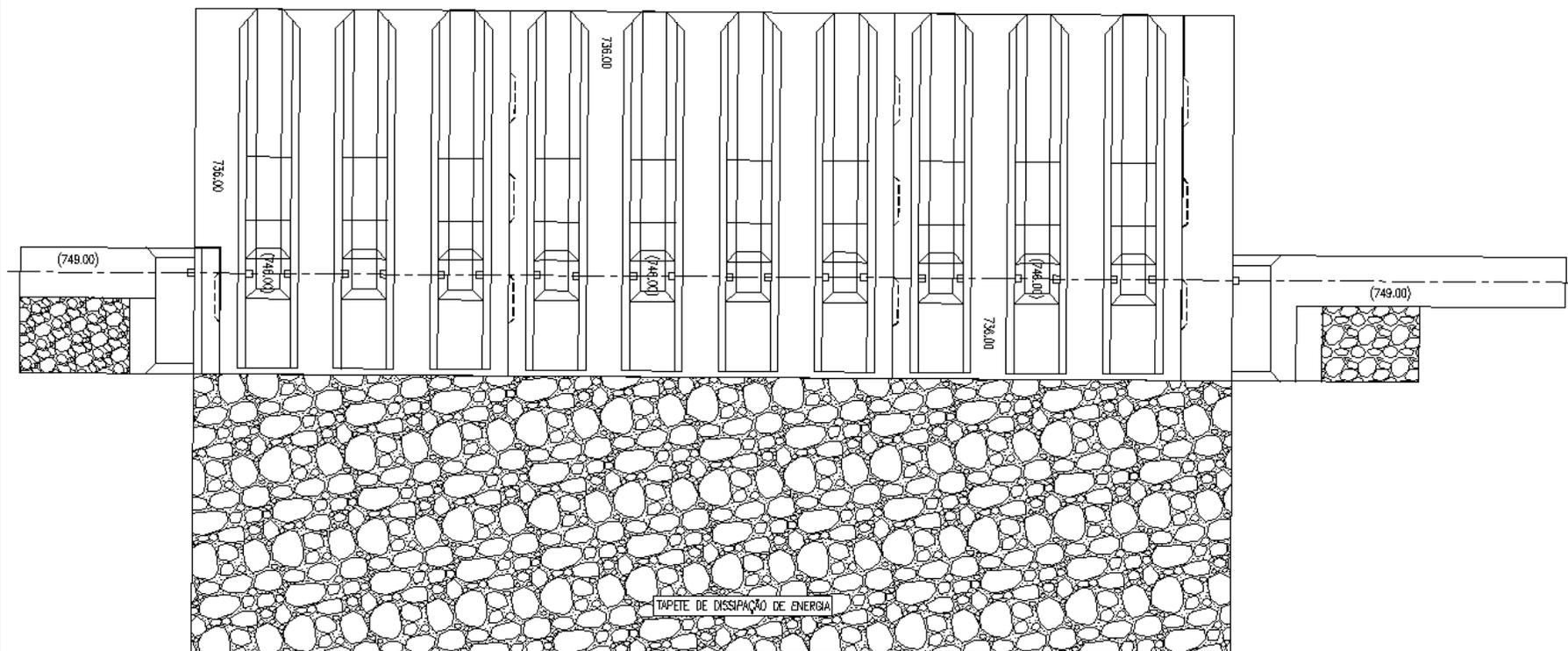


Figura A4.3: Planta do açude A4 - ribeira Santa Luzia (sem escala)

## Açude A4 - Registo Fotográfico



Figura A4.4: Vista de jusante



Figura A4.5: Vista de montante

## Açude A4 - Registo Fotográfico

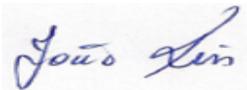


Figura A4.6: Encontro esquerdo, com abertura de 3 metros



Figura A4.7: Tapete de enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de João Gomes - Construção dos Açudes A1 a A4				
Identificação da Estrutura	Açude A1				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°39'56.15"N	Cota	158,50
		Longitude	16°53'50.20"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A1 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 3 blocos - 1 no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte para compatibilização de eventuais movimentos horizontais e verticais sofridos pelos blocos. Integra 5 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0.25 (V:H) entre as cotas 166,5 e 162,5 e 1:1 (V:H) entre as cotas 162,5 e 160,0 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 160,0 e 158,5. A jusante, entre as cotas 166,5 e 162,5 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 162,5 até à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H). Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 6 aberturas, das quais 5 com 1,0m e uma com 3,5m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 0,5m, sendo portanto de 1,0m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. Os encontros seguem o alinhamento dos pilares, têm um paramento vertical até a altura máxima dos pilares, inclinando a partir daqui até à cota de coroamento 172,5, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 6,0m de altura. A jusante dos encontros existe uma cunha de apoio e também com a função de encaminhamento de caudais, em altura, para o leito do canal. A fundação apoia no maciço rochoso escavado, dispensando a construção de tapete de enrocamento e dissipação de energia.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); Zagope - Construções e Engenharia; Tecnovia Madeira - Sociedade de Empreitadas, S.A.; LREC.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	"Zagope/Tecnovia Madeira em consórcio"					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	2+435		<b>Cota Soleira [m]</b>		158,50	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	15450,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		0,5	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	44,45		<b>Cota Coroamento [m]</b>		172,5	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	1,0		<b>Número de aberturas [Un]</b>		6,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			5,0	158,50	8,0	1,5
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
12,75	14,0	28,05	12,75	14,0	11,95	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração / Laje</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	26,0	12,75	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A1 - Desenhos de projeto

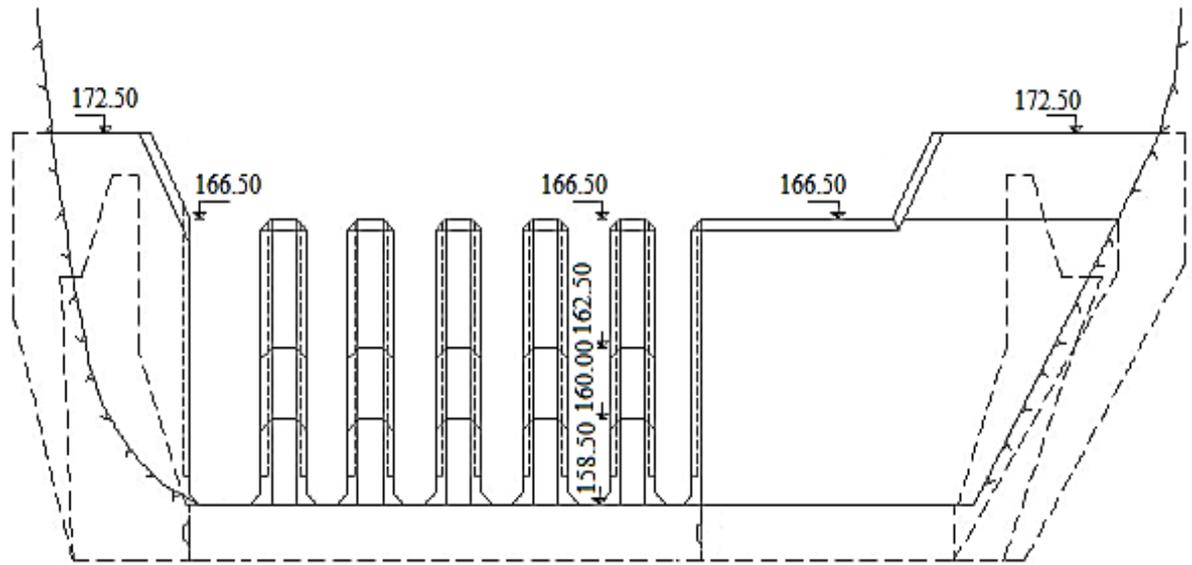


Figura A1.1: Vista de montante do açude A1 (sem escala)

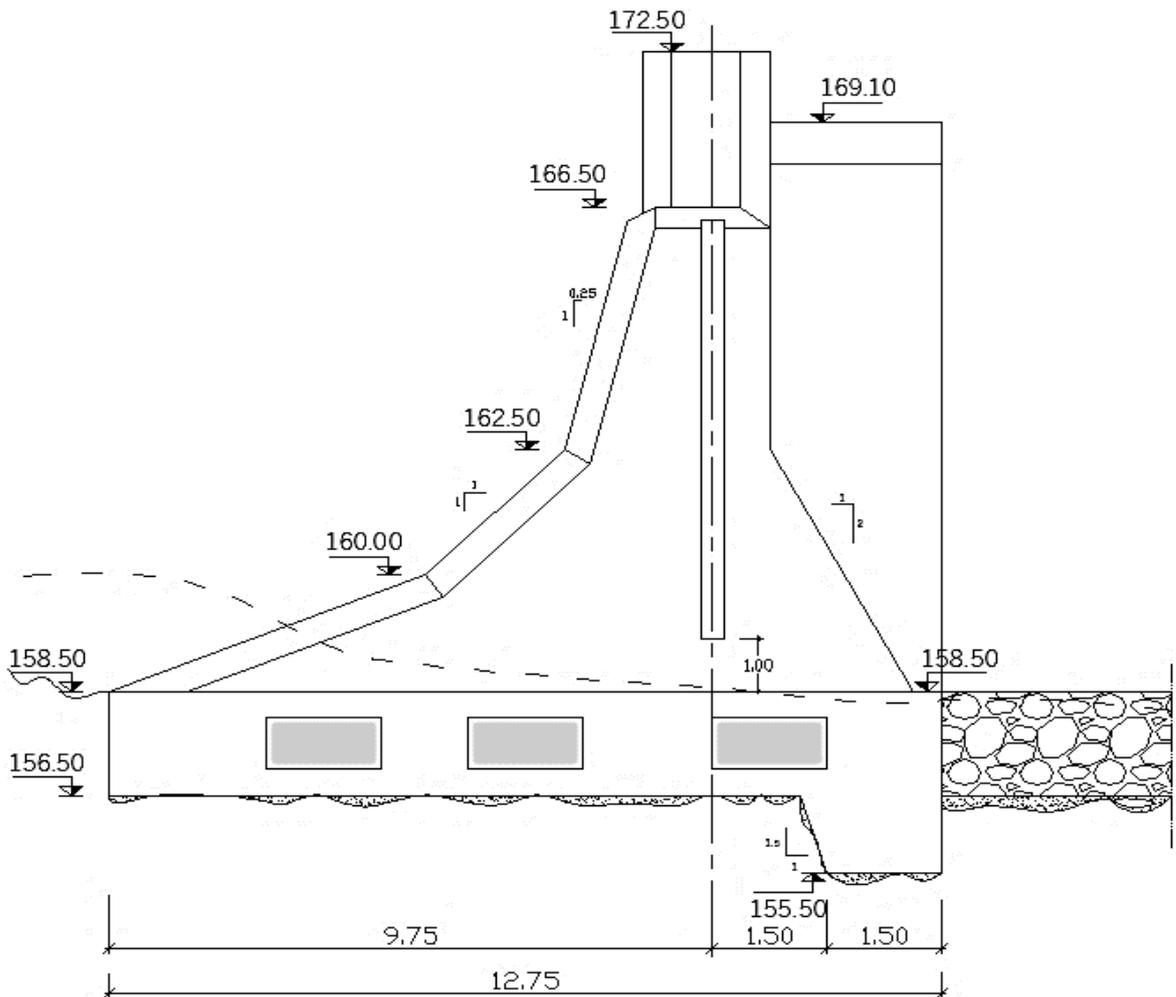


Figura A1.2: Perfil transversal do açude A1 (sem escala)

## Açude A1 - Desenho de projeto

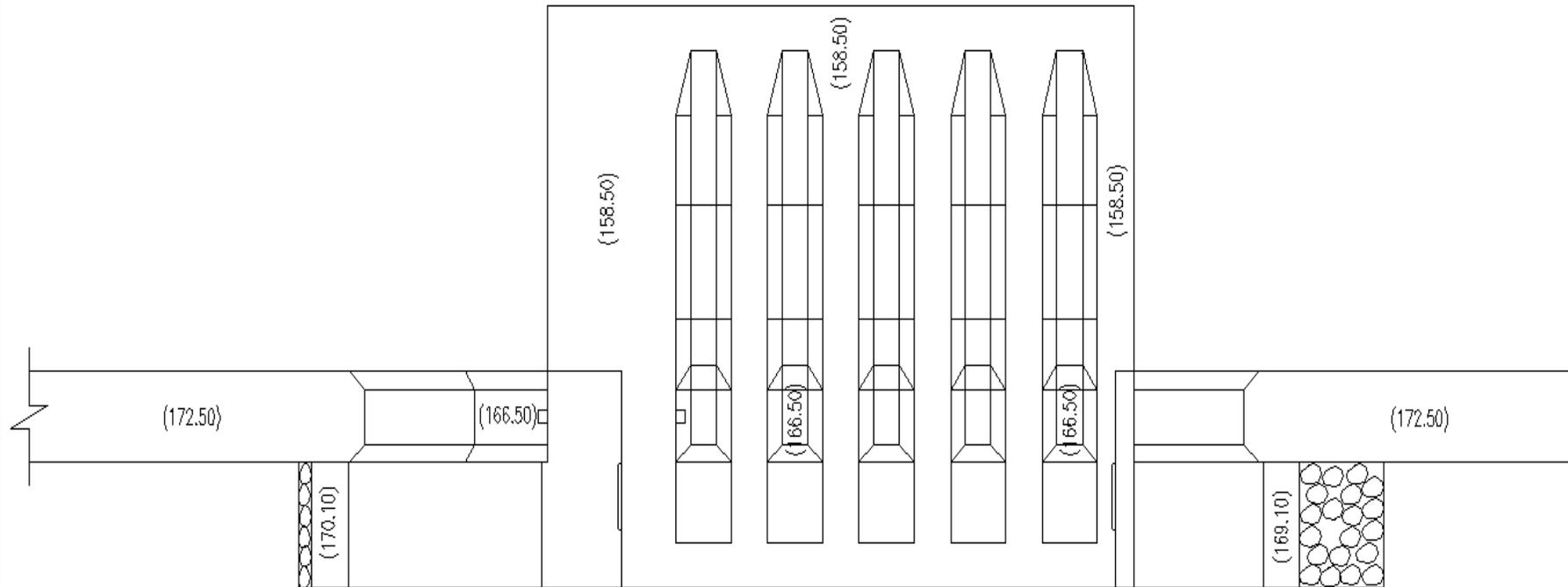


Figura A1.3: Planta do açude A1 - ribeira João Gomes (sem escala)

## Açude A1 - Registo Fotográfico



Figura A1.4: Vista de jusante



Figura A1.5: Vista de montante

## Açude A1 - Registo Fotográfico

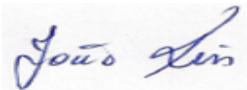


Figura A1.6: Encontro direito, com abertura de 3,5 metros



Figura A1.7: Albufeira parcialmente assoreada

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de João Gomes - Construção dos Açudes A1 a A4				
Identificação da Estrutura	Açude A2				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°40'00.76"N	Cota	177,95
		Longitude	16°53'50.44"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A2 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 3 blocos - 1 no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte para compatibilização de eventuais movimentos horizontais e verticais sofridos pelos blocos. Integra 5 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0.25 (V:H) entre as cotas 185,95 e 181,95, 1:1 (V:H) entre as cotas 181,95 e 179,45 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 179,45 e 177,95. A jusante, entre as cotas 185,95 e 181,95 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 179,45 até à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H). Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 6 aberturas, das quais 5 com 2,0m e uma com 3,5m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 0,8m, sendo portanto de 1,6m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. Os encontros seguem o alinhamento dos pilares, têm um paramento vertical até a altura máxima dos pilares, inclinando a partir daqui até à cota de coroamento, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 4,5m de altura. A jusante dos encontros existe uma cunha de apoio e também com a função de encaminhamento de caudais, em altura, para o leito do canal. A jusante da laje de fundação encontra-se o tapete de dissipação de energia que também protege a mesma laje. O enrocamento desenvolve-se numa extensão de 10,0m com blocos (de enrocamento) com as seguintes dimensões: <math>D_{max} = 1,2m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); Zagope - Construções e Engenharia; Tecnovia Madeira - Sociedade de Empreitadas, S.A.; LREC.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	"Zagope/Tecnovia Madeira em consórcio"					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	2+580		<b>Cota Soleira [m]</b>		177,95	
<b>Capacidade da Albufera [m<sup>3</sup>]</b>	14800,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		0,8	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	49,55		<b>Cota Coroamento [m]</b>		190,45	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	1,6		<b>Número de aberturas [Un]</b>		6,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			5,0	177,95	8,0	1,5
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
11,25	12,50	10,85	11,25	12,50	26,80	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	31,5	11,25	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A2 - Desenhos de projeto

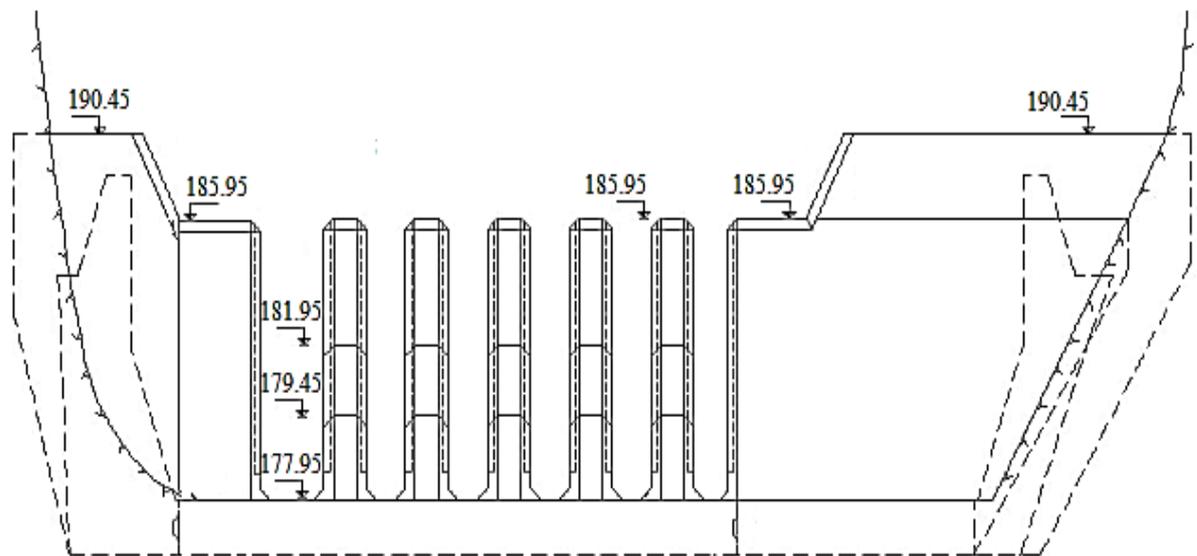


Figura A2.1: Vista de montante do açude A2 (sem escala)

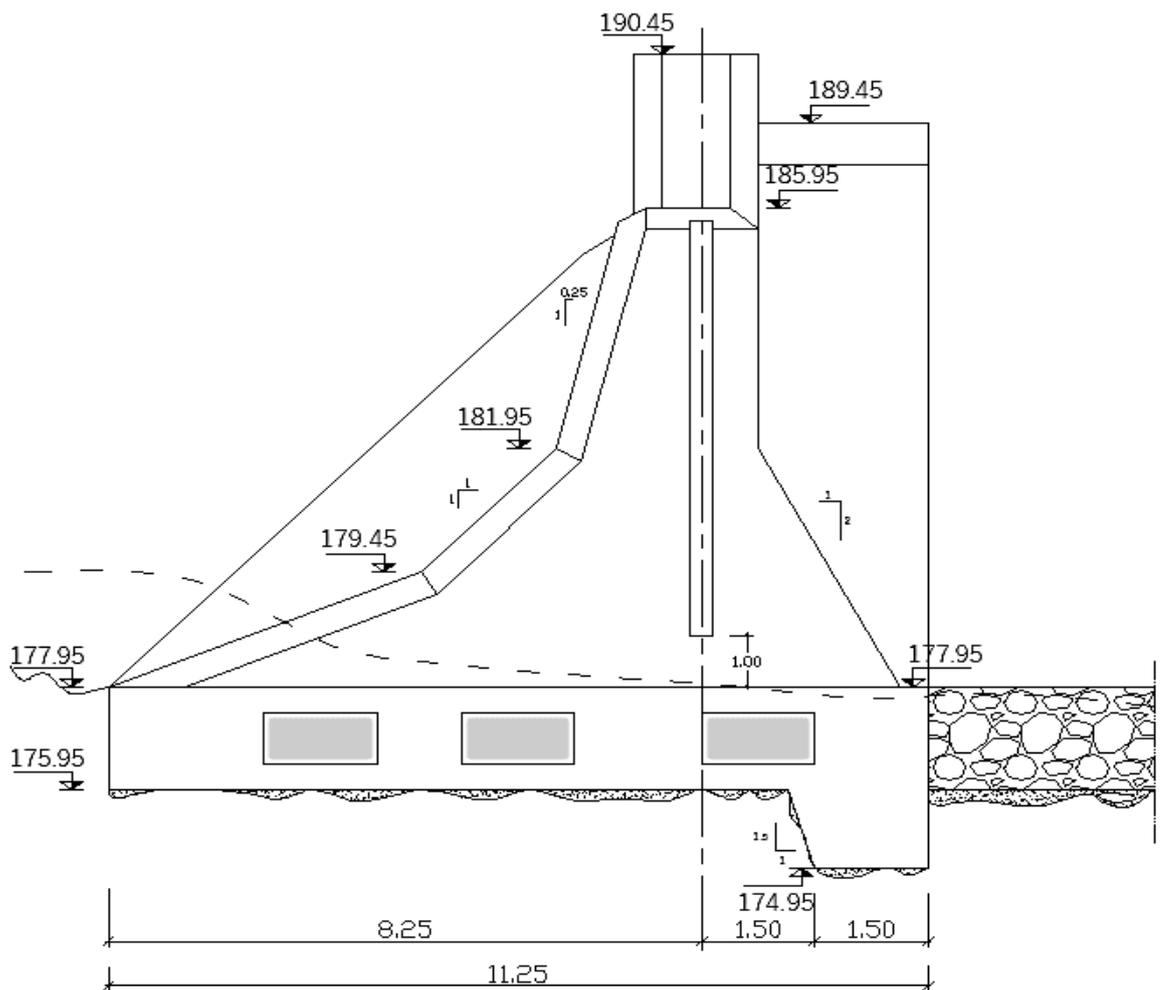


Figura A2.2: Perfil transversal do açude A2 (sem escala)

## Açude A2 - Desenho de projeto

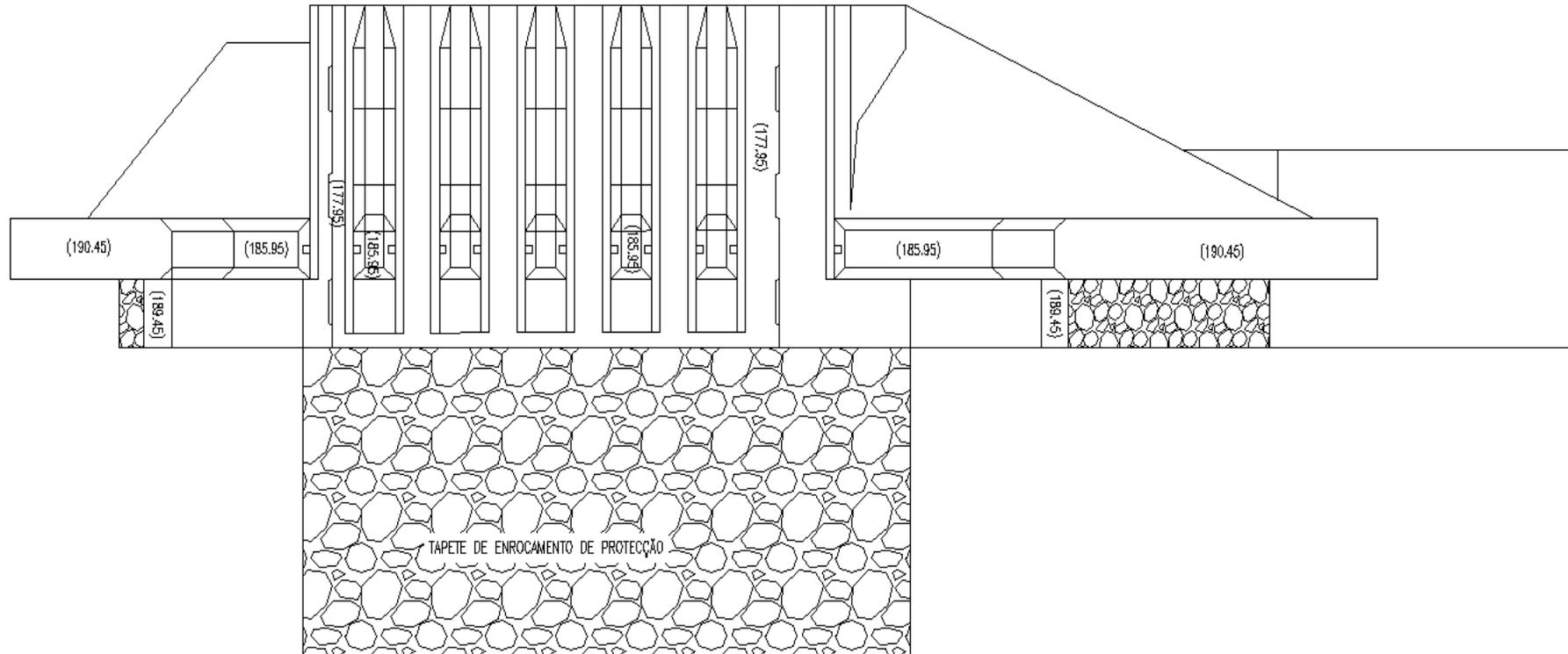


Figura A2.3: Planta do açude A2 - ribeira João Gomes (sem escala)

## Açude A2 - Registo Fotográfico



Figura A2.4: Vista de jusante



Figura A2.5: Vista de montante

## Açude A2 - Registo Fotográfico

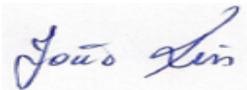


Figura A2.6: Encontro direito, com abertura de 3,5 metros



Figura A2.7: Enrocamento a jusante

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA				
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de João Gomes - Construção dos Açudes A1 a A4					
Identificação da Estrutura	Açude A3					
Localização	Concelho	Funchal				
	Coordenadas	Latitude	32°40'40.48"N		Cota	190,50
		Longitude	16°53'47.43"W			
<b>Imagem do Local</b>						
						
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>						
<p>O açude A3 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 5 blocos - 3 destes no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte para compatibilização de eventuais movimentos horizontais e verticais sofridos pelos blocos. Integra 10 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0,25 (V:H) entre as cotas 198,5 e 194,5, 1:1 (V:H) entre as cotas 194,5 e 192,0 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 192,0 e 190,5. A jusante, entre as cotas 198,5 e 194,5 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 194,5 até à extremidade da laje de fundo. Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 11 aberturas, das quais 10 com 2,0m e uma com 3,5m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,0m, sendo portanto de 2,0m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. Os encontros seguem o alinhamento dos pilares, têm um paramento vertical até a altura máxima dos pilares, inclinando a partir daqui até à cota 202,5, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 4,0m de altura. A jusante dos encontros existe uma cumha de apoio e também com a função de encaminhaemento de caudais, em altura, para o leito do canal. A jusante da laje de fundação encontra-se o tapete de dissipação de energia que também protege a mesma laje. O enrocamento desenvolve-se numa extensão de 20,0m com blocos (de enrocamento) com as seguintes dimensões: <math>D_{max} = 1,2m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>.</p>						
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); Zagope - Construções e Engenharia; Tecnovia Madeira - Sociedade de Empreitadas, S.A.; LREC.					

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	"Zagope/Tecnovia Madeira em consórcio"					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	2+735		<b>Cota Soleira [m]</b>		190,50	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	23050,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,0	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	58,90		<b>Cota Coroamento [m]</b>		202,5	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	2,0		<b>Número de aberturas [Un]</b>		11,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			10,0	190,50	8,0	1,5
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
4,25	12,0	8,3	10,2	12,0	12,6	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	38,50	11,25	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A3 - Desenhos de projeto

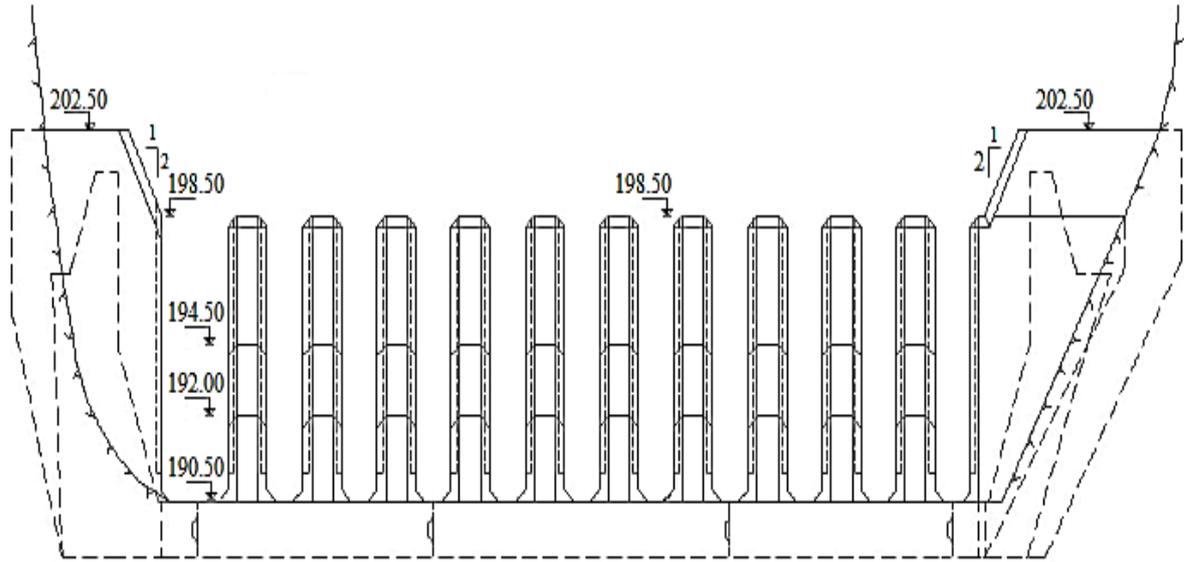


Figura A3.1: Vista de montante do açude A3 (sem escala)

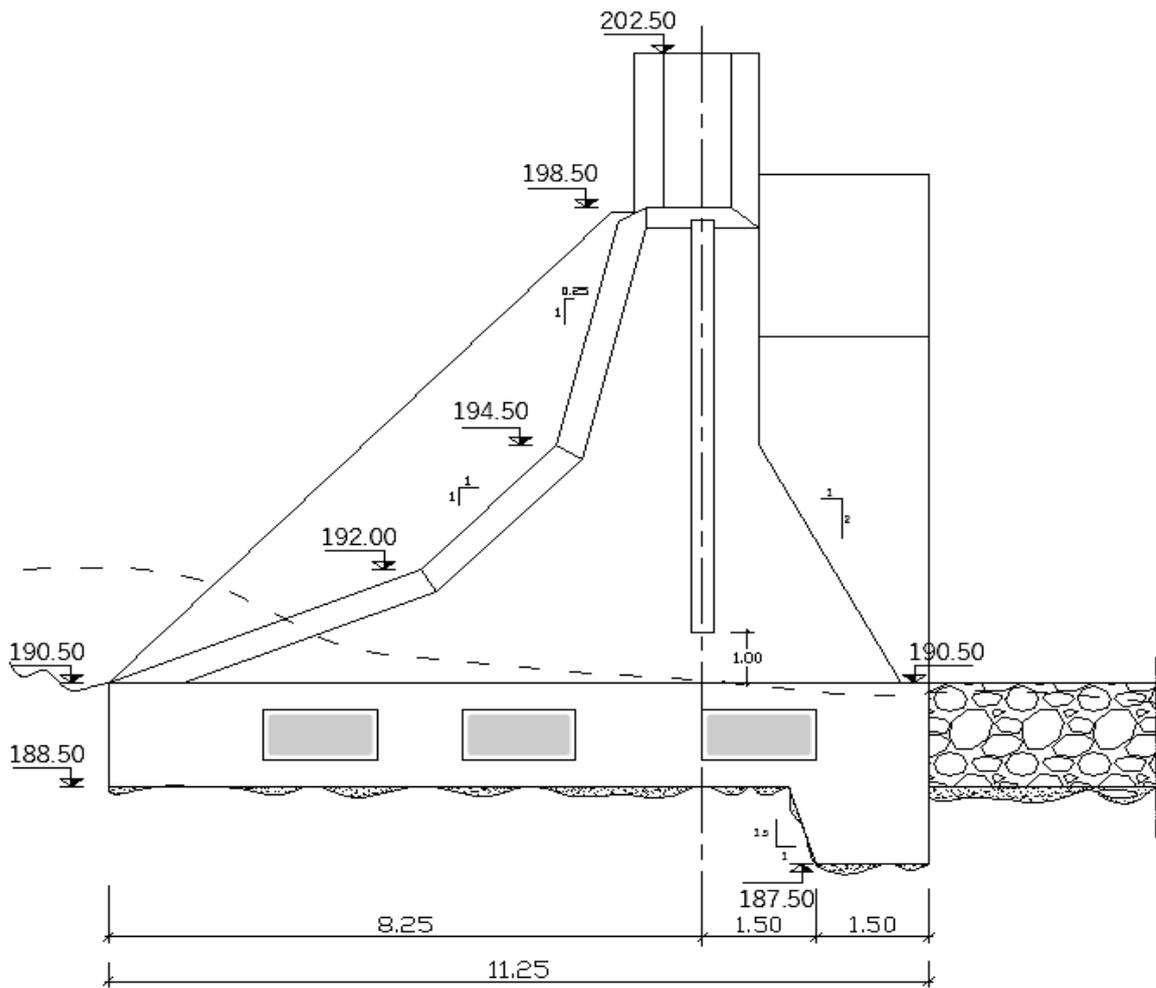


Figura A3.2: Perfil transversal do açude A3 (sem escala)

## Açude A3 - Desenho de projeto

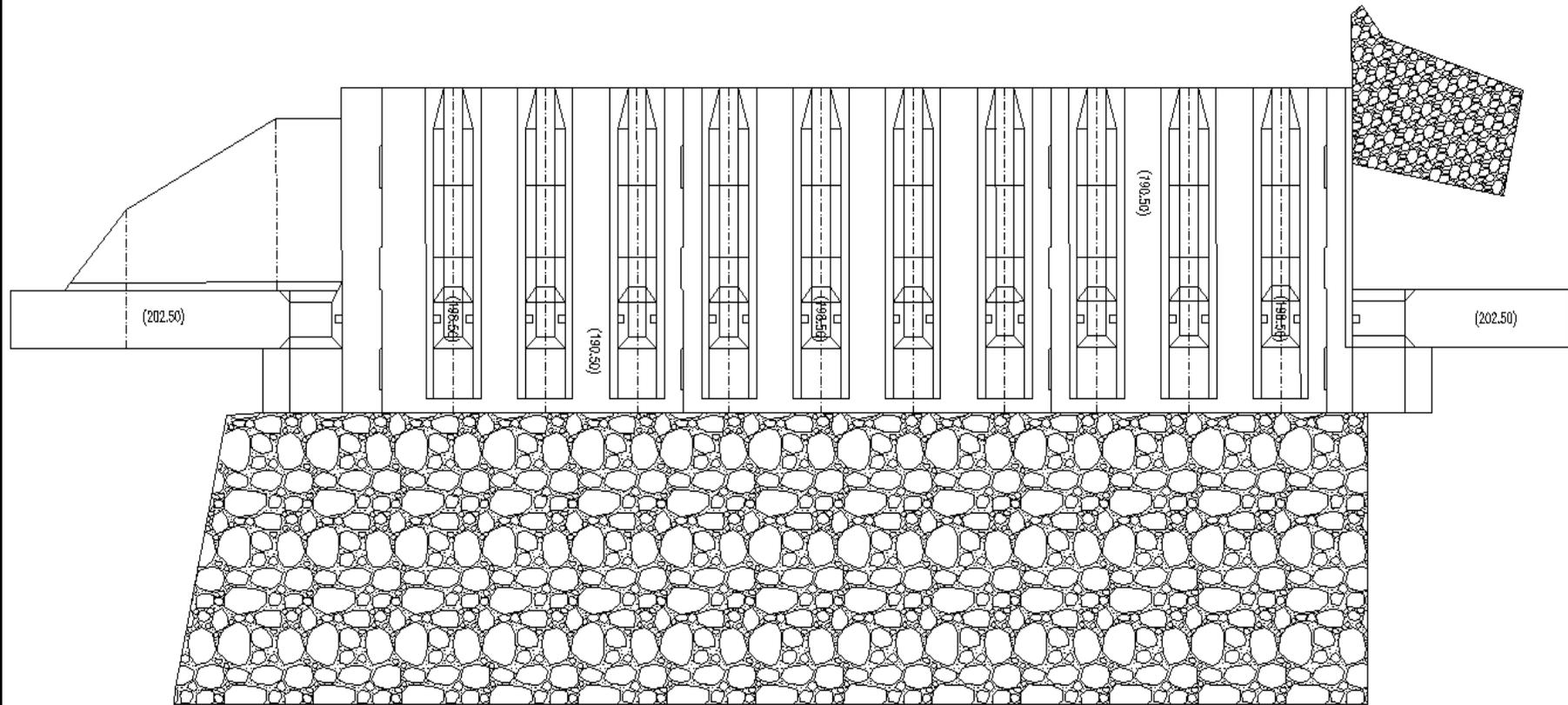


Figura A3.3: Planta do açude A3 - ribeira João Gomes (sem escala)

## Açude A3 - Registo Fotográfico



Figura A3.4: Vista de jusante



Figura A3.5: Vista de montante

## Açude A3 - Registo Fotográfico

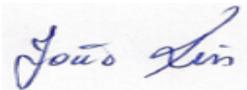


Figura A3.6: Fibras metálicas, 30 kg/m<sup>3</sup> de betão



Figura A3.7: Açude parcialmente assoreado

FICHA DE INVENTÁRIO DOS AÇUDES IMPLANTADOS NAS TRÊS PRINCIPAIS RIBEIRAS DO FUNCHAL		 UNIVERSIDADE da MADEIRA			
Designação da Empreitada	Reabilitação e Regularização da Ribeira de João Gomes - Construção dos Açudes A1 a A4				
Identificação da Estrutura	Açude A4				
Localização	Concelho	Funchal			
	Coordenadas	Latitude	32°40'11.18"N	Cota	210,00
		Longitude	16°53'47.04"W		
<b>Imagem do Local</b>					
					
<b>Descrição e Aspetos Gerais</b>					
<p>O açude A4 corresponde a uma estrutura aberta de betão, em que a secção central de descarga de caudais atinge toda a sua altura. A estrutura é dividida em 3 blocos - 1 no bloco central dos pilares e 1 para cada encontro, separados por juntas estruturais na laje de fundo, munidas de caixas de corte para compatibilização de eventuais movimentos horizontais e verticais sofridos pelos blocos. Integra 6 pilares de grande inércia, construídos em betão e de secção com geometria trapezoidal modificada e chanfrados em 0,4m a montante. Estes elementos a montante apresentam uma inclinação de 1:0,25 (V:H) entre as cotas 218,0 e 214,0, 1:1 (V:H) entre as cotas 214,0 e 211,5 e fazem ligação ao extremo da laje entre as cotas 211,5 e 210,0. A jusante, entre as cotas 218,0 e 214,0 o paramento do pilar é vertical, inclinando desde a cota 214,0 até à extremidade da laje de fundo a 2:1 (V:H). Em planta, a distribuição dos pilares define um conjunto de 7 aberturas, das quais 5 com 2,0m e uma com 3,5m situada junto ao encontro direito, de forma a garantir a passagem para montante e jusante para a necessária manutenção. O espaçamento entre pilares atende à dimensão máxima dos blocos afluentes que se estima na ordem de 1,0m, sendo portanto de 2,0m. No entanto, existem ranhuras nos pilares de forma a incorporar barras de aço a diferentes alturas para diminuir este espaço em função dos blocos ali afluentes efetivamente. Os encontros seguem o alinhamento dos pilares, têm um paramento vertical até a altura máxima dos pilares, inclinando (2:1) a partir daqui até à cota 222,5, garantindo uma secção de descarga hidráulica acima dos pilares de 4,5m de altura. A montante e jusante do encontro esquerdo existem muros de apoio ao enrocamento de proteção dos taludes de escavação e também de proteção do maciço rochoso e seguem a laje de encabeçamento dos pilares. A jusante dos encontros existe uma cunha de apoio e também com a função de encaminhamento de caudais, em altura, para o leito do canal. Encontra-se também o muro que encaminha os caudais para o tapete de dissipação de energia e que também serve de enrocamento à laje de encabeçamento e fundação. Os blocos (enrocamento) do tapete têm as seguintes dimensões: <math>D_{max} = 1,2m</math>, <math>D_{50} = 1,0m</math> e <math>D_{10} = 0,3m</math>, numa extensão de 20,0m.</p>					
Entidades Consultadas	Vice-presidência (VP) - Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos (DRIE); Zagope - Construções e Engenharia; Tecnovia Madeira - Sociedade de Empreitadas, S.A.; LREC.				

<b>Entidade Promotora</b>	RAM - Vice-Presidência do Governo Regional					
<b>Entidade Executante</b>	"Zagope/Tecnovia Madeira em consórcio"					
<b>Características Gerais</b>						
<b>Tipo/Solução Adotada</b>	AVA		<b>Classe</b>		RS	
<b>Distância à foz [km]</b>	2+945		<b>Cota Soleira [m]</b>		210,00	
<b>Capacidade da Albufeira [m<sup>3</sup>]</b>	13400,000		<b>D<sub>max</sub> [m]</b>		1,0	
<b>Comprimento Transversal [m]</b>	51,15		<b>Cota Coroamento [m]</b>		222,5	
<b>Espaçamento Entre Pilares [m]</b>	2,0		<b>Número de aberturas [Un]</b>		7,0 Un	
<b>Caudal de Projeto [m<sup>3</sup>/s]</b>	200					
<b>Elementos Estruturais</b>						
<b>Pilares</b>						
<b>Secção (descrição)</b>			<b>Nº unidades</b>	<b>Cota da Base</b>	<b>Altura</b>	<b>Espessura</b>
Perfil trapezoidal modificado de grande inércia			<b>[un]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>
			6,0	210,00	8,0	1,5
<b>Encontros</b>						
<b>Direito</b>			<b>Esquerdo</b>			<b>Equipamento Monitorização</b>
<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	
4,25	12,50	13,80	4,25	12,50	16,40	CV
<b>Fundação</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Estacas</b>		<b>Maciço de Amarração</b>			
Direta	<b>Diâmetro [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Comprimento [m]</b>	<b>Largura [m]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Enrocamento</b>
	-	-	37,0	11,25	2,0	Sim
<b>Materiais</b>						
<b>Pilares</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão (NP EN 206-1).					
<b>Encontros</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão e com integração de 8 kN de pedra sã, com D <sub>máx.</sub> =0,30m, por m <sup>3</sup> de betão no núcleo central (NP EN 206-1). Tubo N80 para microestacas (API).					
<b>Fundação</b>	Betão C40/50;XC4;CL0.4, com aplicação de fibras metálicas de aço numa dosagem de 30 kg/m <sup>3</sup> de betão. Betão de regularização com 160 kg de cimento /m <sup>3</sup> betão (NP EN 206-1).					
<b>Executado por:</b>					<b>Data:</b> <u>14/07/2015</u>	

### Açude A4 - Desenhos de projeto

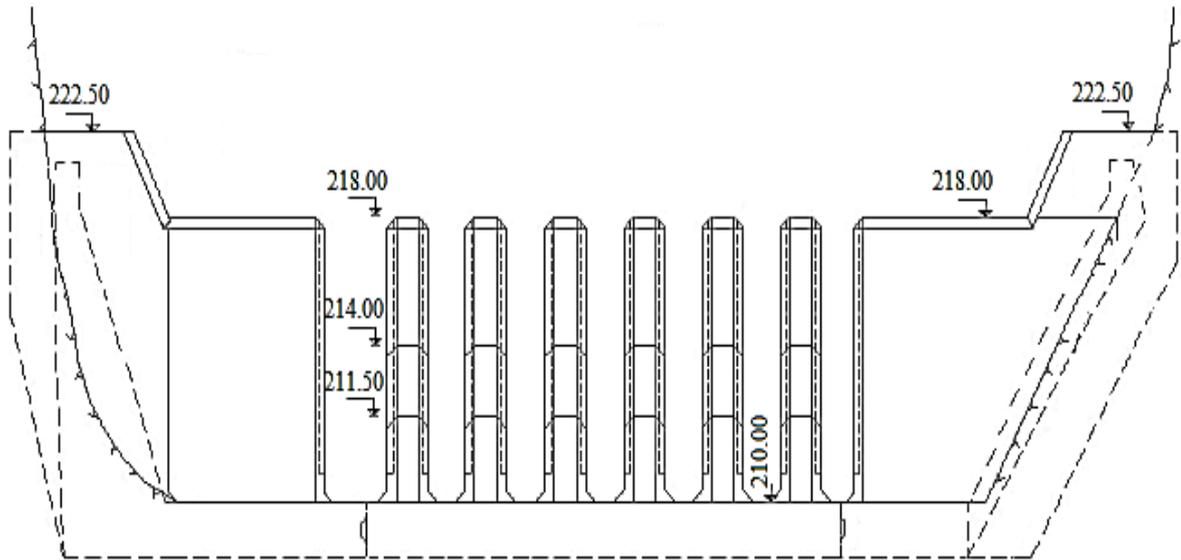


Figura A4.1: Vista de montante do açude A4 (sem escala)

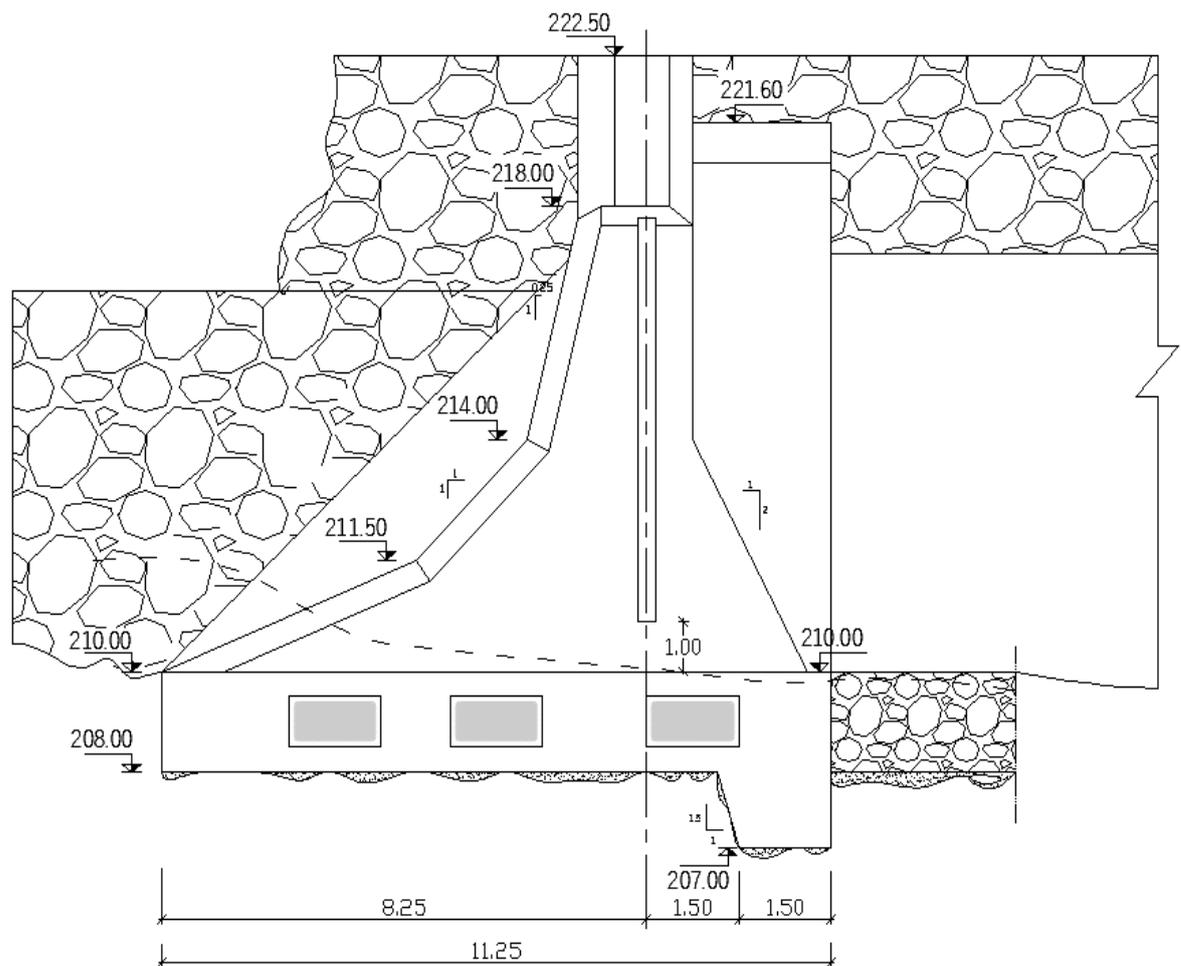


Figura A4.2: Perfil transversal do açude A4 (sem escala)

## Açude A4 - Desenho de projeto

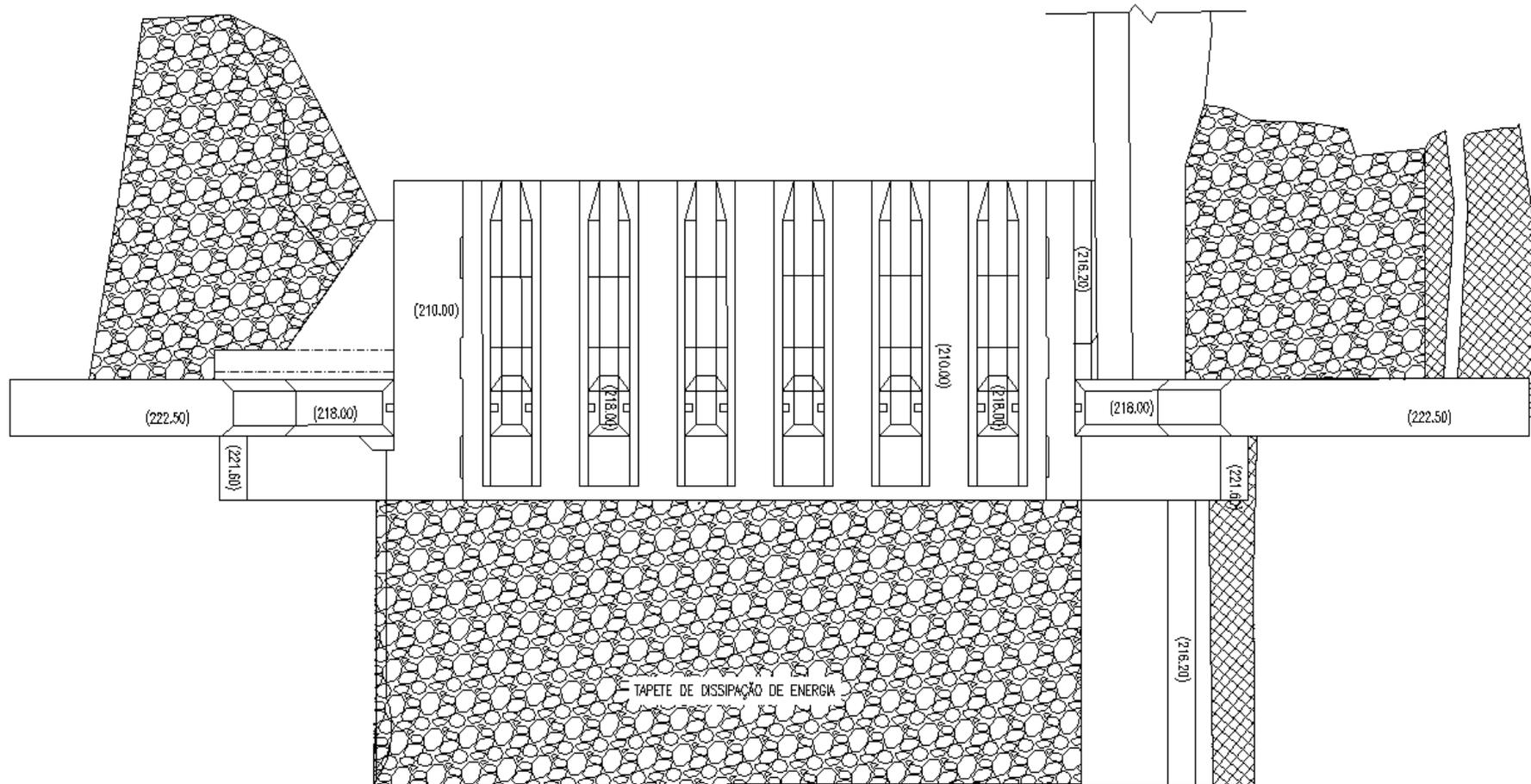


Figura A4.3: Planta do açude A4 - ribeira João Gomes (sem escala)

## Açude A4 - Registo Fotográfico



Figura A4.4: Vista de jusante



Figura A4.5: Vista de montante

## Açude A4 - Registo Fotográfico



Figura A4.6: Encontro direito encastrado e abertura de 3,5 metros



Figura A4.7: Muro de suporte e tapete de enrocamento a jusante