



Gravity Intuition



Herdade do Arade, Portimão

Núcleo de Desenvolvimento Económico (NDE)

Estudo Prévio

Parte 14 – Estudo Hidrológico e Hidráulico da Ribeira da
Boina

FEVEREIRO / 2022

MEMÓRIA E DESENHOS

HISTÓRICO DO DOCUMENTO

Versão n.º	Data	Técnico Responsável	Descrição
0	fev 2022	Mario Samora	Emissão base

ÍNDICE GERAL

OBRAS DE URBANIZAÇÃO DO NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO

Parte 1 – Infraestruturas Rodoviárias

Parte 2 – Infraestruturas de Abastecimento de Água Potável

Parte 3 – Sistema de Abastecimento de Água Não Potável

Parte 4 – Infraestruturas de Drenagem de Águas Residuais Domésticas

Parte 5 – Infraestruturas de Drenagem de Águas Pluviais

Parte 6 – Infraestruturas de Alimentação Elétrica

Parte 7 – Infraestruturas de Telecomunicações

Parte 8 – Infraestruturas de Abastecimento de Gás

Parte 9 – Análise das Disponibilidades Hídricas da Albufeira Principal

Parte 10 – Tratamento das Águas Residuais e Reutilização

Parte 11 – Nós de Acesso com a EN124 (Ligação à Estrutura Rodoviária Existente)

Parte 12 – Rede de Rega da Exploração Agrícola

Parte 13 – Sistema de Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos

Parte 14 – Estudo Hidráulico e Hidrológico da Ribeira da Boina

INDICES

TEXTO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	6
2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS	7
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	7
2.2 SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	10
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	11
2.4 CÁLCULO DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PONDERADAS SOBRE AS DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	15
2.5 ESTABELECIMENTO DE CURVAS DE POSSIBILIDADE UDOMÉTRICA	16
2.6 CÁLCULO DE HIETOGRAMAS DE PRECIPITAÇÃO COM 100 ANOS DE PERÍODO DE RETORNO	17
2.7 CÁLCULO DOS HIETOGRAMAS DAS CHEIAS CENTENÁRIAS NAS DUAS BACIAS	26
3 ANÁLISE HIDRÁULICA DA RIBEIRA DA BOINA	29
4 REMODELAÇÃO E ALTEAMENTO DO DIQUE EXISTENTE	33
5 OBRAS DE CONTROLO DAS ÁGUAS PLUVIAIS INTERIORES AO DIQUE	34
6 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL	40
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41

FIGURAS

Figura 1 – Planta de localização da Herdade do Arade, Portimão	1
Figura 2 – Levantamento topográfico da estrutura da comporta de maré	5
Figura 3 – Ajustamento às leis estatísticas, posto de Monchique	14
Figura 4 – Ajustamento às leis estatísticas, posto de Vidigal	15
Figura 5 – Hietograma para T=100 anos para a bacia da Ribeira da Boina	25
Figura 6 – Hietograma para T=100 anos para a bacia da Praça do Arade	25
Figura 7 – Hidrograma de Cheia Centenária na Bacia da Ribeira da Boina	27
Figura 8 – Hidrograma de Cheia Centenária na Bacia da Praça da Ribeira do Arade	27
Figura 9 – Secção S1 da Ribeira da Boina	30

Figura 10 – Secção S2 da Ribeira da Boina	30
Figura 11 – Ponte Velha da N124	32
Figura 12 – Comportas de maré em PEAD a instalar	36
Figura 13 – Hidrograma de maré futuro para o período de 10 a 16 de janeiro	37
Figura 14 – Simulação da conjugação de cheias centenárias com uma semana de marés mortas....	38

FOTOS

Foto 1 – Planície à cota +0,50 entre a Praça e o Dique	3
Foto 2 – Comporta de maré	4

QUADROS

Quadro 1 – Características das Bacias Hidrográficas	7
Quadro 2 – Valores do Tempo de Concentração das Bacias Hidrográficas da Ribeira da Boina e Praça Arade	10
Quadro 3 – Postos Pluviométricos	10
Quadro 4 – Áreas de influência dos postos pluviométricos	11
Quadro 5 – Séries das precipitações diárias máximas anuais nos postos pluviométricos.....	11
Quadro 6 – Série de precipitações diárias máximas anuais usado neste estudo	13
Quadro 7 – Precipitações diárias máximas anuais com 100 anos de período de retorno nos postos de Monchique e de Vidigal	15
Quadro 8 – Precipitações diárias máximas anuais ponderadas com 100 de período de retorno nas bacias hidrográficas da Ribeira da Boina e de Praça do Arade.....	16
Quadro 9 – Parâmetros a e b das curvas de possibilidade udométrica no posto de Monchique.....	16
Quadro 10 – Intensidades de precipitação e precipitações máximas anuais com 24,0 h de duração segundo as curvas do INAG para o posto de Monchique.....	17
Quadro 11 – Intensidades de precipitação e precipitações máximas anuais centenárias com diferentes durações para a bacia da Ribeira da Boina	18
Quadro 12 – Intensidades de precipitação e precipitações máximas anuais centenárias com diferentes durações para a bacia da Praça do Arade	21
Quadro 13 – Valores dos hidrogramas de cheia centenária.....	28

DESENHOS

- 1 – Localização da Praça Principal do Núcleo de Desenvolvimento da Herdade
- 2 – Planta de Detalhe da Praça Principal do Núcleo de Desenvolvimento da Herdade sobre Levantamento Topográfico.
- 3 – Planta de Detalhe da Praça Principal do Núcleo de Desenvolvimento da Herdade sobre Ortofotomapa.
- 4 – Estudo Hidrológico. Planta da Bacia Hidrográfica da Ribeira da Boina.
- 5 - Planta de Pormenor do Dique Após Alteamento.
- 6 – Perfis Transversais do Dique.
- 7 – Novas Comportas de Maré.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

A Herdade do Arade situa-se junto à cidade de Portimão, no Algarve, conforme se mostra na Figura 1.

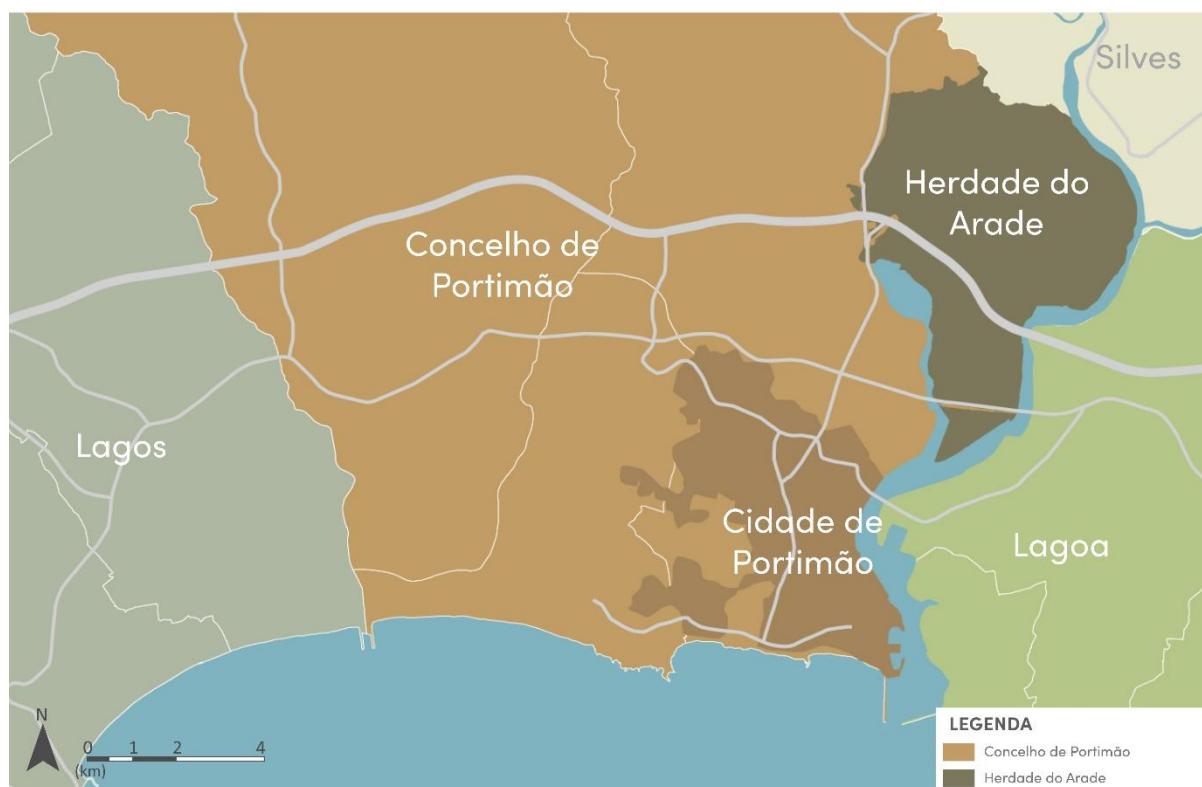


Figura 1 – Planta de localização da Herdade do Arade, Portimão

Fonte: Broadway Maylan

As componentes do NDE da Herdade do Arade são as seguintes: turística, imobiliário residencial; central fotovoltaica; actividade e produção agrícola e florestal, criação de um espaço Natural do Arade, equipamentos e saúde; espaço de formação e desporto e turismo da natureza, e ainda a criação da Praça do Arade, com equipamentos de restauração e lazer abertos à comunidade.

A localização desta última Praça é mostrada nos Desenhos 1, 2 e 3.

A zona edificada desta Praça tem, atualmente, os seus pavimentos por volta da cota + 2,3, a qual se situa acima da atual preia-mar de águas-vivas (+ 1,8 a + 1,9). Em todo o caso, entre a Praça e o leito da Ribeira da Boina, existe uma planície baixa sensivelmente à cota + 0,50 (ver Desenhos 2 e 3), que se encontra protegido do alagamento durante a maré alta por meio de um dique cujo coroamento se situa à cota + 2,25.

Porém, tendo em conta o acordado em reunião com a APA sobre a definição do âmbito do EIA, o projeto deve considerar a possibilidade de inundação à cota + 4,5 m, em função de um cenário futuro de subida do nível do mar (cenário de preia-mar máxima conjugada com uma situação de forte sobrelevação atmosférica).

Assim, torna-se claro que, para garantir a proteção da praça no Futuro, será necessário altear o dique atual para a cota +5,00, deixando pelo menos 0,5 m de folga em relação ao nível máximo postulado pela APA.

Resta saber se, admitindo uma maré alta conjugada com uma ponta de cheia centenária na Ribeira da Boina, o nível máximo atingido será ainda compatível com um dique de proteção à cota + 5,00.

Para isso, realizou-se, no âmbito do presente estudo prévio, um estudo hidrológico e hidráulico da Ribeira da Boina, que permitiu confirmar a suficiência da cota + 5,00 para o coroamento do novo dique alteado.

Para garantir a segurança hidráulica das edificações a realizar na Praça do Arade, há ainda que ter em conta a drenagem das águas pluviais que são produzidas pela bacia hidrográfica que drena para a planície à cota +0,50, protegida pelo dique (ver Desenhos 2 e 3).

Atualmente, quando ocorre um evento de precipitação durante uma maré alta, a água pluvial acumula-se temporariamente na planície, com cerca de 80 000 m² de área, onde existem várias valas de drenagem – Foto 1.

Durante a maré baixa, as águas acumuladas escoam-se para a Ribeira da Boina através de uma comporta de maré que se encontra embutida no dique (ver Foto 2 e Figura 2).

No entanto, com a prevista subida futura dos níveis do mar, o esgotamento das águas pluviais passará a ser cada vez mais difícil. Assim, no âmbito do presente estudo, realizou-se também o estudo hidrológico da Bacia Interior da Praça do Arade, com o objetivo de avaliar o hidrograma da sua cheia centenária e estudar as suas condições atuais de evacuação.



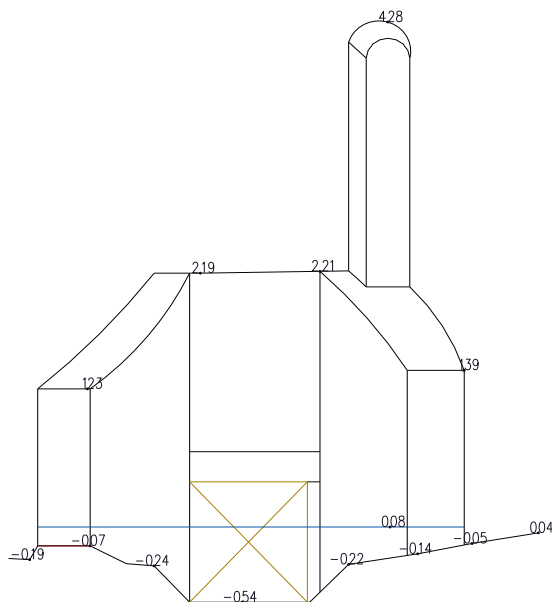
Foto 1 – Planície à cota +0,50 entre a Praça e o Dique

Seguidamente, realizou-se um estudo hidráulico para averiguar se, para garantir no futuro a segurança do edificado contra inundações pelo lado de dentro do dique, bastará substituir a comporta de maré existente por outras com maior capacidade, ou se será necessário recorrer a bombagem.

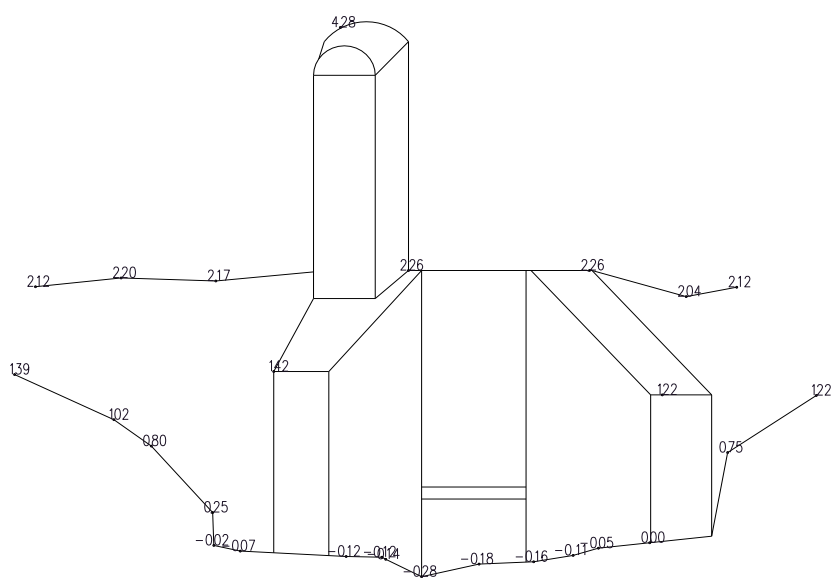
Como se verá, conclui-se que, do ponto de vista da segurança, a primeira das duas soluções bastará.



Foto 2 – Comporta de maré



Alçado Sul



Alçado Norte

Figura 2 – Levantamento topográfico da estrutura da comporta de maré

1.2 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O texto do presente relatório encontra-se estruturado em sete capítulos, com os seguintes âmbitos:

- O Capítulo 1 contém a presente introdução.
- No Capítulo 2, apresentam-se os estudos hidrológicos da Ribeira da Boina e da Bacia Interior da Praça do Arade, com o objetivo de avaliar os hidrogramas das suas cheias centenárias.
- No Capítulo 3, executa-se a Análise Hidráulica da Ribeira da Boina, com o objeto de avaliar os níveis máximos que poderão ocorrer na mesma, em caso de conjugação de uma preia-mar com um ponta de cheia centenária.
- No Capítulo 4, estuda-se o alteamento do dique que atualmente defende a Praça contra a ocorrência de inundações, passando o mesmo a estar adaptado a uma possível subida futura do nível médio das águas do mar.
- No Capítulo 5, estudam-se as obras consideradas necessárias para o controlo das águas pluviais interiores ao dique.
- No Capítulo 6, apresentam-se medições e uma estimativa sumária do custo das obras a realizar.
- Finalmente, no Capítulo 7, resumem-se as conclusões e as recomendações resultantes do presente estudo.

2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Foi realizado, no âmbito do presente relatório, o estudo hidrológico da bacia hidrográfica da Ribeira da Boina - Desenho 4, e da bacia hidrográfica interior da Praça Principal do Arade – Desenhos 2 e 3.

As principais características das referidas bacias são as seguintes:

Quadro 1 – Características das Bacias Hidrográficas

	Ribeira da Boina	Praça Arade
Área (km ²)	70	0,40
Comprimento da linha de água principal (m)	22 160	910
Altitude mínima	≈0,50	0,50
Altitude máxima	800	71
Altitude média	232	-
Altura média (m)	≈230	-
Declive Médio da linha de água principal (-)	0,030	0,053
Declive entre 10 e 85% do comprimento da linha de água (m/km)	19,25	29,14

Para calcular os tempos de concentração das bacias, utilizaram-se as fórmulas de NERC, de Témez, do Soil Conservation Service e de Giandotti, seguidamente definidas:

NERC:
$$Tc = 2,8 \left(\frac{L}{\sqrt{s}} \right)^{0,47}$$

onde:

Tc - tempo de concentração (h);

L - comprimento da linha de água principal (km);

s – declive, entre 10 e 85% de L (m/km).

Témez:

$$Tc = 0,3 \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76}$$

onde:

Tc - tempo de concentração (h);

L - comprimento da linha de água principal (km);

J – declive médio da linha de água (-).

Soil Conservation Service (S.C.S):

$$Tc = \frac{100 L^{0,8} \left(\frac{1000}{N} - 9 \right)^{0,7}}{1900 \sqrt{s}}$$

onde:

Tc - tempo de concentração (minutos);

L - comprimento da linha de água principal (ft), sendo 1ft=0,3048 m;

s – declive médio da linha de água (%);

N – número de escoamento.

Giandotti:

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m}}$$

onde:

Tc - tempo de concentração (h);

L - comprimento da linha de água principal (km);

h_m – altura média da bacia (m).

O número de escoamento N, utilizado na formulação do S.C.S., tem em conta as características do solo, a sua utilização e as condições de superfície.

A análise da “Carta dos Solos de Portugal Continental Classificados pelas suas Características Hidrológicas”, publicada na fig. 11.19 de Lições de Hidrologia de A. Lencastre e F. M. Franco (1992), permitiu concluir que existem diferentes tipos de solo nas áreas das bacias hidrográficas em estudo.

Na bacia hidrográfica da Ribeira da Boina, existem solos dos tipos C e D, e na bacia hidrográfica de Praça Arade, existem apenas um tipo de solo que é D.

No que respeita à ocupação dos solos, a análise da carta militar à escala 1/25 000 e as visitas realizadas ao local permitiram identificar o seguinte:

- Para a área da Ribeira da Boina:

Analisámos o tipo de solo e concluímos que a bacia é composta por 39% de solo tipo C e 61% de solo tipo D. Por outro lado, a ocupação do solo é constituída floresta entre densa a pouco densa (montado de sobreiro). De acordo com as tabelas publicadas em Lencastre e Franco “Números de escoamento N segundo o SCS” fizemos uma interpolação, e o resultado foi $N = 77$ (para condições de humedecimento do solo AMCIII).

- Para a área da Praça do Arade

O solo é do tipo D com floresta esparsa, o que, de acordo com as tabelas publicadas em Lencastre e Franco “Números de escoamento N para diversas utilizações do solo segundo o SCS”, leva a $N = 93$ (para condições de humedecimento do solo AMCIII).

No Quadro 2, são apresentados os valores dos tempos de concentração obtidos por aplicação das quatro fórmulas atrás referidas, bem como os valores médios finais arredondados.

Quadro 2 – Valores do Tempo de Concentração das Bacias Hidrográficas da Ribeira da Boina e Praça Arade

Formulação	Tempo de concentração (h)	
	Ribeira da Boina	Praça Arade
NERC	6	1,2
TÉMEZ	6,1	0,5
S.C.S.	10,3	0,5
GIANDOTTI	5,5	-
Média (h)	7	0,54
Valor Adotado	7,00h=420 min	0,50h=30 min

2.2 SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Para a realização do estudo hidrológico, foram consultados os dados disponíveis no SNIRH, relativos a postos pluviométricos na zona em estudo – Desenho 4.

Seguidamente, identificam-se esses postos pluviométricos, as suas localizações e os períodos em que há registos de observações nos mesmos.

Quadro 3 – Postos Pluviométricos

Posto	Designação	Localização		Altitude	Período de observação
		Latitude (°N)	Longitude (°W)		(anos)
Monchique	30F/01C	37.322	-8.594	792	26/01/1933 a 02/11/2015
Vidigal	30F/05C	37.203	-8.606	27	28/03/1947 a 02/11/2015
Marmeleite	30E/02UG	37.310859	-8.670524	351	01/10/1959 a 08/09/2020
Barragem do Arade	30G/03C	37.238	-8.375	58	01/01/1950 a 03/11/2021
Porches	31G/02UG	37.132	-8.394	58	01/10/1979 a 28/12/2021
Mexilhoeira Grande	31F/02UG	37.16333	-8.614996	52	01/03/1980 a 22/12/2021

Optou-se por utilizar os dados de Monchique e de Vidigal, por serem os únicos postos que, segundo os polígonos de Thiessen ilustrados pelo Desenho 4, têm influência sobre as bacias em estudo.

A bacia da Praça do Arade é influenciada apenas pelo posto de Vidigal, ao passo que a bacia da Ribeira da Boina é influenciada por Monchique e por Vidigal, nas percentagens indicadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Áreas de influência dos postos pluviométricos

Posto Pluviométrico	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
Área de influência (%)	50,50	49,50

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Para determinar a precipitação sobre as bacias hidrográficas da Ribeira de Boina e de Praça Arade, foram utilizados os dados das estações pluviométricas de Monchique e Vidigal, conforme ilustrado no Desenho 4.

No Quadro 5, listam-se as séries de precipitações diárias máximas anuais disponibilizadas no SNIRH para esses dois postos pluviométricos, as quais abrangem um período de 67 anos entre 1948 e 2015.

Quadro 5 – Séries das precipitações diárias máximas anuais nos postos pluviométricos

Dia	Postos	
	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
23/12/1948	40	46,5
30/11/1949	148,3	122,3
13/03/1951	78,6	-
14/12/1951	165	102,2
16/12/1953	97,8	75,8
16/01/1956	114,7	76
10/10/1956	-	48,4
28/01/1958	74,6	35,8
01/12/1959	88,4	-
12/03/1960	-	39,7
31/10/1960	100,2	-
16/02/1963	137	-
08/12/1963	-	45,8
16/02/1964	126,7	-
25/09/1965	68	43,5
23/10/1967	97,3	56,3
15/11/1968	-	-
19/05/1971	-	34,6
02/01/1972	64,9	38,7
13/01/1973	122,2	30,9

Dia	Postos	
	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
24/03/1974	71,5	33,9
20/05/1975	-	-
30/04/1976	68,8	53,1
30/01/1977	-	48,1
12/12/1977	78	53,3
07/11/1978	133	95
16/10/1980	-	24
28/12/1981	105	-
12/01/1982	-	38,2
06/11/1982	-	-
07/11/1982	127	56,9
06/12/1984	110	97
05/11/1985	92,1	28,2
10/01/1987	70,8	-
07/11/1987	-	59
24/11/1988	66,1	56,5
01/10/1989	-	-
17/10/1989	128	77
04/12/1990	-	-
14/12/1991	-	33,5
14/01/1992	-	-
31/03/1992	49,2	-
21/12/1992	102,7	68,5
01/11/1993	100,5	53,1
13/02/1995	-	47
16/11/1995	99,3	53,9
08/03/1996	-	-
13/12/1996	-	46,5
19/04/1997	88,8	-
26/05/1997	-	-
06/11/1997	-	57,5
19/09/1999	-	30,5
11/12/2001	-	-

Dia	Postos	
	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
14/12/2002	-	-
25/10/2003	67.4	-
27/10/2004	64.0	-
01/12/2004	-	44.7
28/10/2005	119.1	-
23/10/2006	78.4	62.4
21/12/2007	62.7	-
02/11/2015	66.2	40.3
19/12/2019	-	-

Como se pode concluir da leitura do Quadro 5, o período comum aos dois postos é de 24 anos entre 1948 e 2015.

As precipitações diárias máximas com 100 anos de período de retorno foram, pois, determinadas por análise estatística das séries de precipitações máximas em Vidigal e Monchique, no período comum de 24 anos de observações.

Tais séries encontram-se registadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Série de precipitações diárias máximas anuais usado neste estudo

Dia	Postos	
	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
23/12/1948	40	46,5
30/11/1949	148,3	122,3
14/12/1951	165	102,2
16/12/1953	97,8	75,8
16/01/1956	114,7	76
28/01/1958	74,6	35,8
25/09/1965	68	43,5
23/10/1967	97,3	56,3
02/01/1972	64,9	38,7
13/01/1973	122,2	30,9
24/03/1974	71,5	33,9
30/04/1976	68,8	53,1
12/12/1977	78	53,3
07/11/1978	133	95

Dia	Postos	
	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
07/11/1982	127	56,9
06/12/1984	110	97
05/11/1985	92,1	28,2
24/11/1988	66,1	56,5
17/10/1989	128	77
21/12/1992	102,7	68,5
01/11/1993	100,5	53,1
16/11/1995	99,3	53,9
23/10/2006	78,4	62,4
02/11/2015	66,2	40,3

A série anterior tem 24 anos de registos, sendo estes em quantidade minimamente suficiente para desenvolver uma análise estatística. Assim, à dita série foi efetuado o ajustamento estatístico de diferentes funções de distribuição, considerando as leis Log-Normal (Galton), Gumbel e Gama 3P (Pearson III), que usualmente são adequadas para representar eventos extremos.

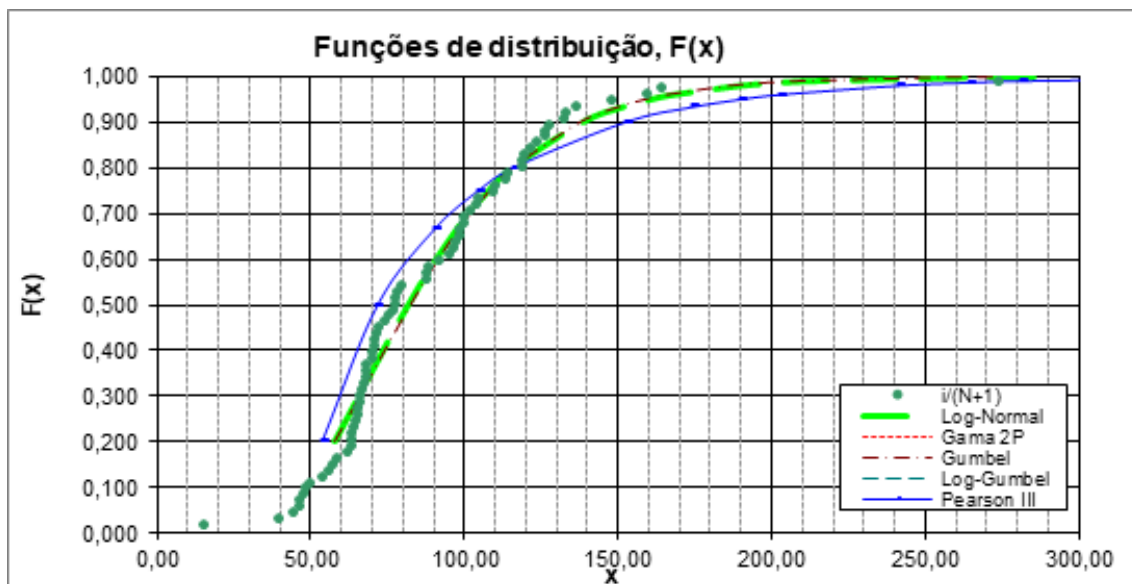


Figura 3 – Ajustamento às leis estatísticas, posto de Monchique

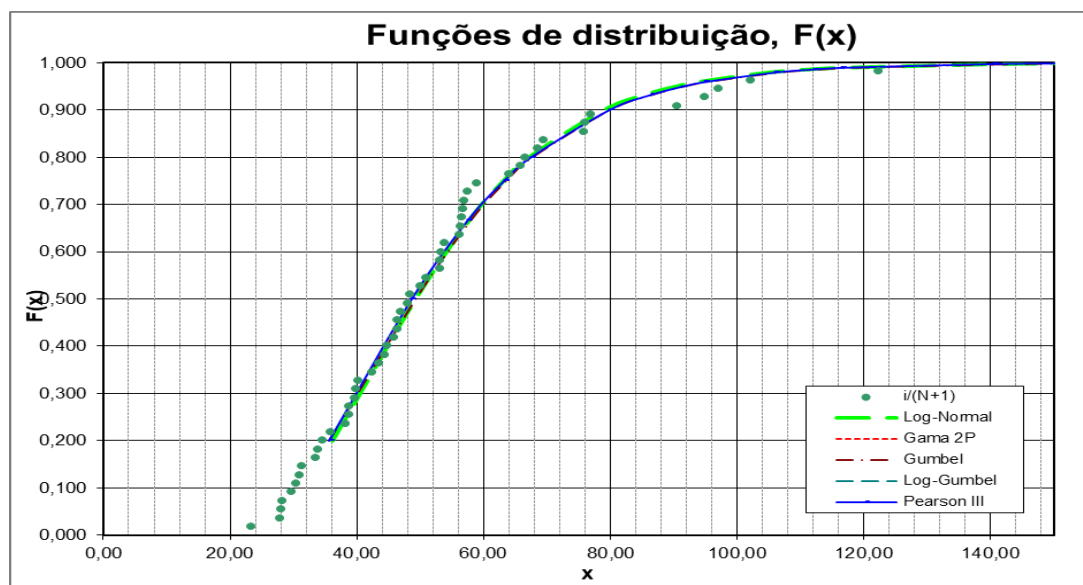


Figura 4 – Ajustamento às leis estatísticas, posto de Vidigal

De acordo com a análise dos resultados, a lei Gumbel é a que melhor se ajusta à série de valores das precipitações diárias máximas anuais nos postos de Monchique e de Vidigal, pelo que a mesma foi selecionada para prosseguir a análise, tendo-se obtido os resultados que se apresentam no Quadro 7 para o período de retorno de 100 anos.

Quadro 7 – Precipitações diárias máximas anuais com 100 anos de período de retorno nos postos de Monchique e de Vidigal

Período de Retorno (ano)	Precipitação diária máxima anual (mm)	
	Monchique (30F/01C)	Vidigal (30F/05C)
100	206,19	117,89

2.4 CÁLCULO DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PONDERADAS SOBRE AS DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A precipitação média anual ponderada nas bacias hidrográficas da Ribeira da Boina e da Praça Arade foi determinada pelo método dos polígonos de Thiessen para o período de 24 anos.

Os valores foram obtidos ponderando as áreas de influência das estações (Quadro 4) com os valores apresentados na Quadro 8.

Quadro 8 – Precipitações diárias máximas anuais ponderadas com 100 de período de retorno nas bacias hidrográficas da Ribeira da Boina e de Praça do Arade

Período de Retorno (ano)	Precipitação Diária Máxima Anual na Bacia da Ribeira da Boina (mm)			Precipitação Diária Máxima Anual na Bacia da Praça do Arade (mm)
	Contribuição do Posto de Monchique (30F/01C)	Contribuição do Posto de Vidigal (30F/05C)	Total	
100	104,22	58,30	163	117,89

2.5 ESTABELECIMENTO DE CURVAS DE POSSIBILIDADE UDOMÉTRICA

O INAG estabeleceu em 2001¹, para o posto de Monchique, curvas IDF (Intensidade, Duração, Frequência) para vários períodos de retorno, inferiores ou iguais a 1000 anos, para 3 intervalos de duração (entre 5 e 30 minutos, entre 30 minutos e 6 horas e entre 6 e 48 horas).

As curvas estabelecidas pelo INAG são do tipo $i = a \times t^b$, em que i é a intensidade de precipitação em mm/h, para um dado período de retorno, t é a duração da precipitação em minutos.

No Quadro 9, indicam-se os valores dos parâmetros a e b estabelecidos para o posto do Monchique, para os 3 intervalos de duração indicados acima e para um período de retorno de 100 anos.

No Quadro 13, indicam-se os valores da precipitação e da intensidade de precipitação diárias em Monchique, que resultam das curvas de possibilidade udométrica do INAG.

Quadro 9 – Parâmetros a e b das curvas de possibilidade udométrica no posto de Monchique

Duração t (min)	T=100 anos	
	a	b
$5\text{min} \leq t < 30\text{min}$	409,57	-0,405
$30\text{min} \leq t < 6\text{h}$	522,31	-0,463
$6\text{h} \leq t < 48\text{h}$	4923,7	-0,848

¹ Brandão, Cláudia, Dezembro 2001. “Análise de Fenómenos Extremos. Precipitações Intensas em Portugal Continental”

Quadro 10 – Intensidades de precipitação e precipitações máximas anuais com 24,0 h de duração segundo as curvas do INAG para o posto de Monchique

Período de Retorno (ano)	i (mm/h)	P (mm)
100	10,33	248

2.6 CÁLCULO DE HIETOGRAMAS DE PRECIPITAÇÃO COM 100 ANOS DE PERÍODO DE RETORNO

Para converter as precipitações diárias calculadas em 2.4 em precipitações com 24h de duração, teve-se em conta que, de acordo com o INAG em BRANDÃO, C. et al., 2001, a relação entre a precipitação máxima anual em 24 h e a precipitação diária máxima anual toma o valor médio de 1,16 no território nacional. Assim as precipitações máximas com 24h de duração.

A precipitação máxima anual ponderada diária com período de retorno de 100 anos na bacia hidrográfica da Ribeira da Boina é 163 mm, a passo que na da Praça Arade é 117,89 mm. Assim, as correspondentes precipitações com 24 h de duração são $1,16 \times 163 = 189$ mm e $1,16 \times 117,89 = 137$ mm.

Para calcular também as precipitações centenárias com duração inferir a 24 horas nas duas bacias hidrográficas, tomaram-se como padrão as curvas de possibilidade udométrica no posto de Monchique, calculadas pelo INAG e indicadas na secção 2.5.

Segundo as ditas curvas, a precipitação máxima anual com 24,0 h é 248 mm. Assim, para obter valores para as bacias da Ribeira da Boina e da Praça do Arade e para diferentes durações, aplicaram-se os seguintes coeficientes de redução aos valores dados pelas curvas de possibilidade udométrica de Monchique.

- Bacia da Ribeira da Boina (Quadro 11): Coeficiente = $189 / 248 = 0,762$.
- Bacia da Praça do Arade (Quadro 12): Coeficiente = $137 / 248 = 0,552$.

Para ambos os casos, aplicaram-se ainda os coeficientes de redução propostos por Chow et al. (Applied Hydrology, 1988)².

² Esta correção destina-se a ter em conta o facto de a intensidade da precipitação com dada duração não ser uniforme em toda a bacia, sendo a não uniformidade tanto mais acentuada quanto maior for a área da bacia e quanto menor for a duração da precipitação.

Quadro 11 – Intensidades de precipitação e precipitações máximas anuais centenárias com diferentes durações para a bacia da Ribeira da Boina

t (h)	t (min)	i (mm/h)	P Monchique INAG (mm)	Coeficientes redução da precipitação (-)		P Ribeira da Boina (mm)
				Ribeira da Boina	Chow	
0,25	15	136,78	34,194	0,762	0,718	18,74
0,50	30	103,30	51,649	0,762	0,765	30,16
0,75	45	87,66	65,741	0,762	0,813	40,75
1,00	60	78,01	78,015	0,762	0,860	51,16
1,25	75	70,76	88,447	0,762	0,869	58,60
1,50	90	65,03	97,545	0,762	0,877	65,28
1,75	105	60,55	105,963	0,762	0,886	71,63
2,00	120	56,92	113,841	0,762	0,895	77,72
2,25	135	53,90	121,274	0,762	0,904	83,60
2,50	150	51,33	128,333	0,762	0,912	89,33
2,75	165	49,12	135,072	0,762	0,921	94,93
3,00	180	47,18	141,533	0,762	0,930	100,42
3,25	195	45,46	147,749	0,762	0,931	104,98
3,50	210	43,93	153,748	0,762	0,933	109,39
3,75	225	42,55	159,551	0,762	0,934	113,68
4,00	240	41,29	165,177	0,762	0,935	117,85
4,25	255	40,15	170,643	0,762	0,937	121,92
4,50	270	39,10	175,962	0,762	0,938	125,90
4,75	285	38,14	181,146	0,762	0,939	129,79
5,00	300	37,24	186,205	0,762	0,940	133,60
5,25	315	36,41	191,148	0,762	0,942	137,33
5,50	330	35,63	195,983	0,762	0,943	141,00
5,75	345	34,69	199,475	0,762	0,944	143,71
6,00	360	33,46	200,770	0,762	0,946	144,84
6,25	375	32,32	202,019	0,762	0,946	145,77
6,50	390	31,27	203,227	0,762	0,946	146,68
6,75	405	30,28	204,397	0,762	0,946	147,56
7,00	420	29,36	205,530	0,762	0,947	148,41
7,25	435	28,50	206,629	0,762	0,947	149,24
7,50	450	27,69	207,696	0,762	0,947	150,04
7,75	465	26,93	208,734	0,762	0,947	150,83
8,00	480	26,22	209,744	0,762	0,947	151,59

t (h)	t (min)	i (mm/h)	P Monchique INAG (mm)	Coeficientes redução da precipitação (-)		P Ribeira da Boina (mm)
				Ribeira da Boina	Chow	
8,25	495	25,54	210,727	0,762	0,948	152,34
8,50	510	24,90	211,685	0,762	0,948	153,06
8,75	525	24,30	212,620	0,762	0,948	153,77
9,00	540	23,73	213,533	0,762	0,948	154,47
9,25	555	23,18	214,424	0,762	0,949	155,15
9,50	570	22,66	215,295	0,762	0,949	155,82
9,75	585	22,17	216,146	0,762	0,949	156,47
10,00	600	21,70	216,980	0,762	0,949	157,11
10,25	615	21,25	217,796	0,762	0,949	157,73
10,50	630	20,82	218,595	0,762	0,950	158,35
10,75	645	20,41	219,378	0,762	0,950	158,95
11,00	660	20,01	220,146	0,762	0,950	159,55
11,25	675	19,64	220,899	0,762	0,950	160,13
11,50	690	19,27	221,639	0,762	0,950	160,70
11,75	705	18,92	222,364	0,762	0,951	161,26
12,00	720	18,59	223,077	0,762	0,951	161,82
12,25	735	18,27	223,777	0,762	0,951	162,36
12,50	750	17,96	224,466	0,762	0,951	162,90
12,75	765	17,66	225,142	0,762	0,952	163,43
13,00	780	17,37	225,808	0,762	0,952	163,95
13,25	795	17,09	226,462	0,762	0,952	164,46
13,50	810	16,82	227,107	0,762	0,952	164,97
13,75	825	16,56	227,741	0,762	0,952	165,47
14,00	840	16,31	228,366	0,762	0,953	165,96
14,25	855	16,07	228,981	0,762	0,953	166,44
14,50	870	15,83	229,587	0,762	0,953	166,92
14,75	885	15,61	230,184	0,762	0,953	167,39
15,00	900	15,38	230,773	0,762	0,954	167,86
15,25	915	15,17	231,354	0,762	0,954	168,32
15,50	930	14,96	231,926	0,762	0,954	168,77
15,75	945	14,76	232,491	0,762	0,954	169,22
16,00	960	14,57	233,048	0,762	0,954	169,67
16,25	975	14,38	233,598	0,762	0,955	170,11

t (h)	t (min)	i (mm/h)	P Monchique INAG (mm)	Coeficientes redução da precipitação (-)		P Ribeira da Boina (mm)
				Ribeira da Boina	Chow	
16,50	990	14,19	234,141	0,762	0,955	170,54
16,75	1005	14,01	234,676	0,762	0,955	170,97
17,00	1020	13,84	235,206	0,762	0,955	171,39
17,25	1035	13,67	235,728	0,762	0,955	171,81
17,50	1050	13,50	236,244	0,762	0,956	172,23
17,75	1065	13,34	236,754	0,762	0,956	172,64
18,00	1080	13,18	237,258	0,762	0,956	173,05
18,25	1095	13,03	237,756	0,762	0,956	173,45
18,50	1110	12,88	238,248	0,762	0,957	173,85
18,75	1125	12,73	238,735	0,762	0,957	174,24
19,00	1140	12,59	239,216	0,762	0,957	174,63
19,25	1155	12,45	239,692	0,762	0,957	175,02
19,50	1170	12,32	240,162	0,762	0,957	175,40
19,75	1185	12,18	240,628	0,762	0,958	175,78
20,00	1200	12,05	241,088	0,762	0,958	176,16
20,25	1215	11,93	241,544	0,762	0,958	176,53
20,50	1230	11,80	241,995	0,762	0,958	176,90
20,75	1245	11,68	242,441	0,762	0,959	177,27
21,00	1260	11,57	242,883	0,762	0,959	177,63
21,25	1275	11,45	243,320	0,762	0,959	177,99
21,50	1290	11,34	243,753	0,762	0,959	178,35
21,75	1305	11,23	244,182	0,762	0,959	178,70
22,00	1320	11,12	244,606	0,762	0,960	179,06
22,25	1335	11,01	245,027	0,762	0,960	179,40
22,50	1350	10,91	245,443	0,762	0,960	179,75
22,75	1365	10,81	245,856	0,762	0,960	180,09
23,00	1380	10,71	246,265	0,762	0,960	180,43
23,25	1395	10,61	246,670	0,762	0,961	180,77
23,50	1410	10,51	247,071	0,762	0,961	181,11
23,75	1425	10,42	247,469	0,762	0,961	181,44
24,00	1440	10,33	247,863	0,762	0,961	181,77

Quadro 12 – Intensidades de precipitação e precipitações máximas anuais centenárias com diferentes durações para a bacia da Praça do Arade

t (h)	t (min)	i (mm/h)	P Monchique INAG (mm)	Coeficientes redução da precipitação (-)		P Praça do Arade (mm)
				Praça Arade	Chow	
0,25	15	136,78	34,192	0,552	0,718	13,56
0,50	30	103,30	51,646	0,552	0,765	21,82
0,75	45	87,66	65,737	0,552	0,813	29,49
1,00	60	78,01	78,010	0,552	0,860	37,02
1,25	75	70,76	88,448	0,552	0,869	42,40
1,50	90	65,03	97,546	0,552	0,877	47,24
1,75	105	60,55	105,964	0,552	0,886	51,83
2,00	120	56,92	113,842	0,552	0,895	56,24
2,25	135	53,90	121,275	0,552	0,904	60,50
2,50	150	51,33	128,334	0,552	0,912	64,64
2,75	165	49,12	135,073	0,552	0,921	68,69
3,00	180	47,18	141,535	0,552	0,930	72,66
3,25	195	45,46	147,751	0,552	0,931	75,96
3,50	210	43,93	153,749	0,552	0,933	79,16
3,75	225	42,55	159,552	0,552	0,934	82,26
4,00	240	41,29	165,179	0,552	0,935	85,28
4,25	255	40,15	170,645	0,552	0,937	88,22
4,50	270	39,10	175,964	0,552	0,938	91,10
4,75	285	38,14	181,148	0,552	0,939	93,91
5,00	300	37,24	186,207	0,552	0,940	96,67
5,25	315	36,41	191,150	0,552	0,942	99,37
5,50	330	35,63	195,985	0,552	0,943	102,03
5,75	345	34,69	199,470	0,552	0,944	103,98
6,00	360	33,46	200,764	0,552	0,946	104,80
6,25	375	32,32	202,014	0,552	0,946	105,48
6,50	390	31,27	203,222	0,552	0,946	106,14
6,75	405	30,28	204,391	0,552	0,946	106,77
7,00	420	29,36	205,524	0,552	0,947	107,39
7,25	435	28,50	206,623	0,552	0,947	107,99
7,50	450	27,69	207,691	0,552	0,947	108,57
7,75	465	26,93	208,728	0,552	0,947	109,14

t (h)	t (min)	i (mm/h)	P Monchique INAG (mm)	Coeficientes redução da precipitação (-)		P Praça do Arade (mm)
				Praça Arade	Chow	
8,00	480	26,22	209,738	0,552	0,947	109,69
8,25	495	25,54	210,721	0,552	0,948	110,23
8,50	510	24,90	211,680	0,552	0,948	110,76
8,75	525	24,30	212,614	0,552	0,948	111,27
9,00	540	23,73	213,527	0,552	0,948	111,77
9,25	555	23,18	214,418	0,552	0,949	112,27
9,50	570	22,66	215,289	0,552	0,949	112,75
9,75	585	22,17	216,141	0,552	0,949	113,22
10,00	600	21,70	216,974	0,552	0,949	113,68
10,25	615	21,25	217,790	0,552	0,949	114,14
10,50	630	20,82	218,589	0,552	0,950	114,58
10,75	645	20,41	219,372	0,552	0,950	115,02
11,00	660	20,01	220,140	0,552	0,950	115,45
11,25	675	19,64	220,893	0,552	0,950	115,87
11,50	690	19,27	221,633	0,552	0,950	116,28
11,75	705	18,92	222,358	0,552	0,951	116,69
12,00	720	18,59	223,071	0,552	0,951	117,09
12,25	735	18,27	223,771	0,552	0,951	117,48
12,50	750	17,96	224,459	0,552	0,951	117,87
12,75	765	17,66	225,136	0,552	0,952	118,25
13,00	780	17,37	225,802	0,552	0,952	118,63
13,25	795	17,09	226,456	0,552	0,952	119,00
13,50	810	16,82	227,101	0,552	0,952	119,37
13,75	825	16,56	227,735	0,552	0,952	119,73
14,00	840	16,31	228,359	0,552	0,953	120,08
14,25	855	16,07	228,975	0,552	0,953	120,44
14,50	870	15,83	229,581	0,552	0,953	120,78
14,75	885	15,61	230,178	0,552	0,953	121,12
15,00	900	15,38	230,767	0,552	0,954	121,46
15,25	915	15,17	231,347	0,552	0,954	121,79
15,50	930	14,96	231,920	0,552	0,954	122,12
15,75	945	14,76	232,485	0,552	0,954	122,45
16,00	960	14,57	233,042	0,552	0,954	122,77

t (h)	t (min)	i (mm/h)	P Monchique INAG (mm)	Coeficientes redução da precipitação (-)		P Praça do Arade (mm)
				Praça Arade	Chow	
16,25	975	14,38	233,592	0,552	0,955	123,09
16,50	990	14,19	234,134	0,552	0,955	123,40
16,75	1005	14,01	234,670	0,552	0,955	123,71
17,00	1020	13,84	235,199	0,552	0,955	124,02
17,25	1035	13,67	235,722	0,552	0,955	124,32
17,50	1050	13,50	236,238	0,552	0,956	124,62
17,75	1065	13,34	236,748	0,552	0,956	124,92
18,00	1080	13,18	237,251	0,552	0,956	125,22
18,25	1095	13,03	237,749	0,552	0,956	125,51
18,50	1110	12,88	238,242	0,552	0,957	125,80
18,75	1125	12,73	238,728	0,552	0,957	126,08
19,00	1140	12,59	239,209	0,552	0,957	126,36
19,25	1155	12,45	239,685	0,552	0,957	126,64
19,50	1170	12,32	240,156	0,552	0,957	126,92
19,75	1185	12,18	240,621	0,552	0,958	127,20
20,00	1200	12,05	241,082	0,552	0,958	127,47
20,25	1215	11,93	241,537	0,552	0,958	127,74
20,50	1230	11,80	241,988	0,552	0,958	128,01
20,75	1245	11,68	242,434	0,552	0,959	128,27
21,00	1260	11,57	242,876	0,552	0,959	128,53
21,25	1275	11,45	243,313	0,552	0,959	128,79
21,50	1290	11,34	243,746	0,552	0,959	129,05
21,75	1305	11,23	244,175	0,552	0,959	129,31
22,00	1320	11,12	244,600	0,552	0,960	129,56
22,25	1335	11,01	245,020	0,552	0,960	129,82
22,50	1350	10,91	245,437	0,552	0,960	130,07
22,75	1365	10,81	245,849	0,552	0,960	130,31
23,00	1380	10,71	246,258	0,552	0,960	130,56
23,25	1395	10,61	246,663	0,552	0,961	130,80
23,50	1410	10,51	247,064	0,552	0,961	131,05
23,75	1425	10,42	247,462	0,552	0,961	131,29
24,00	1440	10,33	247,856	0,552	0,961	131,53



Com base nos valores dos Quadros 11 e 12, foi possível estabelecer hietogramas de precipitação para ambas as bacias.

Sendo os tempos de concentração de 7 h para a bacia da Ribeira da Boina e de 30 min para a bacia da Praça do Arade, considerou-se ser adequado, e suficientemente prudente, considerar precipitações com 24h de duração total para ambas.

Para a bacia da Praça do Arade, tal poderia ser considerado excessivo, uma vez que se trata a de uma duração 48 vezes maior do que o tempo de concentração. No entanto, como se verá no Capítulo 5, o volume do hidrograma de cheia na Praça do Arade é bastante mais importante que a sua ponta, pelo que a opção por 24 h permite maximizar o primeiro.

Segundo NUNES CORREIA, em “Alguns Procedimentos Adotados pelo Soil Conservation Service para a Determinação de Caudais de Cheia em Pequenas Bacias Naturais e Urbanas”, os blocos de precipitação a considerar na construção do hietograma deverão ter uma duração não superior a aproximadamente 0,133 vezes o tempo de concentração, o que corresponde a 55 minutos para a bacia da Ribeira da Boina e a apenas 4 minutos para a bacia da Praça do Arade. No entanto, por uma questão de uniformidade e facilidade de cálculo, optou-se por considerar blocos de precipitação com duração $\Delta t = 15$ min para ambas as bacias, já que, como se referiu atrás, para a Praça do Arade é mais importante o volume da cheia do que a sua ponta.

Foram, ainda, adotados os seguintes procedimentos e hipóteses conservadoras na construção dos hietogramas:

- cada bloco de precipitação corresponde à diferença entre a precipitação com determinada duração t e a precipitação com duração $t-\Delta t$;
- a disposição dos blocos de precipitação foi obtida colocando às 12 h o bloco com maior intensidade e distribuindo alternadamente, à direita e à esquerda, por ordem decrescente de intensidade de precipitação, os restantes blocos.

Na Figura 5 e Figura 6, são apresentados os hietogramas assim obtidos, com 24 h de duração, compreendendo 96 blocos de precipitação com 15 minutos cada, determinados segundo os procedimentos que se acabam de descrever.

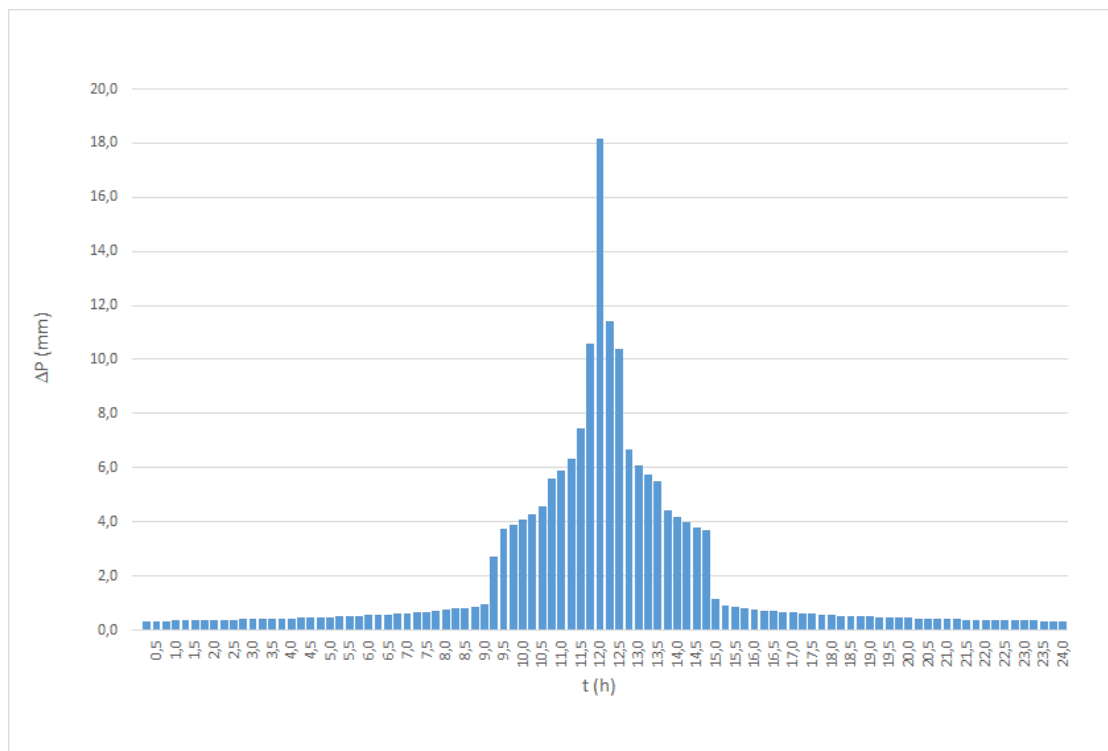


Figura 5 – Hietograma para T=100 anos para a bacia da Ribeira da Boina

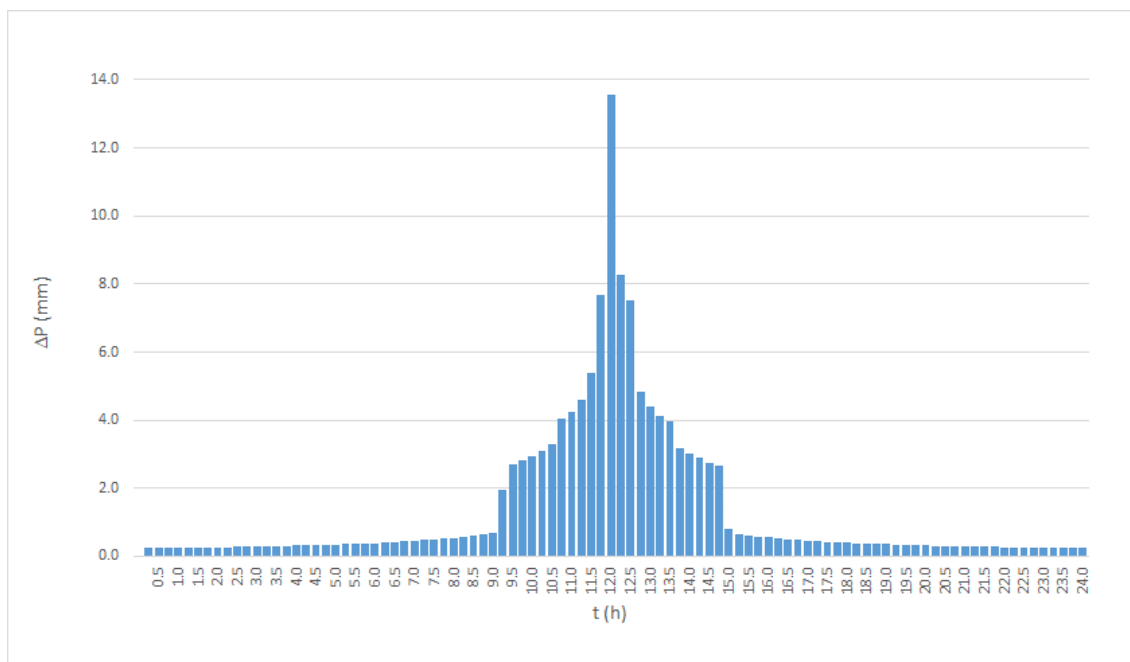


Figura 6 – Hietograma para T=100 anos para a bacia da Praça do Arade



2.7 CÁLCULO DOS HIDROGRAMAS DAS CHEIAS CENTENÁRIAS NAS DUAS BACIAS

Os hidrogramas de cheia correspondentes aos hietogramas definidos na secção anterior foram determinados por convolução desses hietogramas com o hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service, realizada por intermédio do modelo HEC-HMS desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers.

As componentes deste modelo caracterizam-se por relações matemáticas simples, que pretendem simular os processos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos que condicionam a relação entre a precipitação e o escoamento. A utilização deste programa contempla a análise da precipitação, da interceptação/infiltração, do escoamento e da propagação da onda de cheia.

O hidrograma unitário do S.C.S é caracterizado pelo tempo de atraso (“lag time”) dado pela expressão:

$$t_p = 0,6 \times t_c$$

onde, t_p é o tempo de atraso e t_c é o tempo de concentração da bacia.

O tempo de concentração determinado para a bacia de Ribeira da Boina é de 7,0 h (420 minutos), obtendo-se assim o tempo de atraso igual a 252 minutos.

O tempo de concentração determinado para a bacia de Praça Arade é de 0,5 h (30 minutos), obtendo-se assim o tempo de atraso igual a 18 minutos.

Tendo como dados de base os hietogramas de precipitação total sobre as bacias, o cálculo dos correspondentes hidrogramas das cheias de projeto foi efetuado considerando:

- que os números de escoamento são $N = 77$ para a bacia da Ribeira da Boina e $N = 93$ para a bacia da Praça do Praça Arade, tal como foi calculado na secção 2.1.
- que uma chuvada com período de retorno de 100 anos origina uma cheia com igual período de retorno.

Os hidrogramas assim obtidos são os que se indicam nas Figuras 7 e 8.

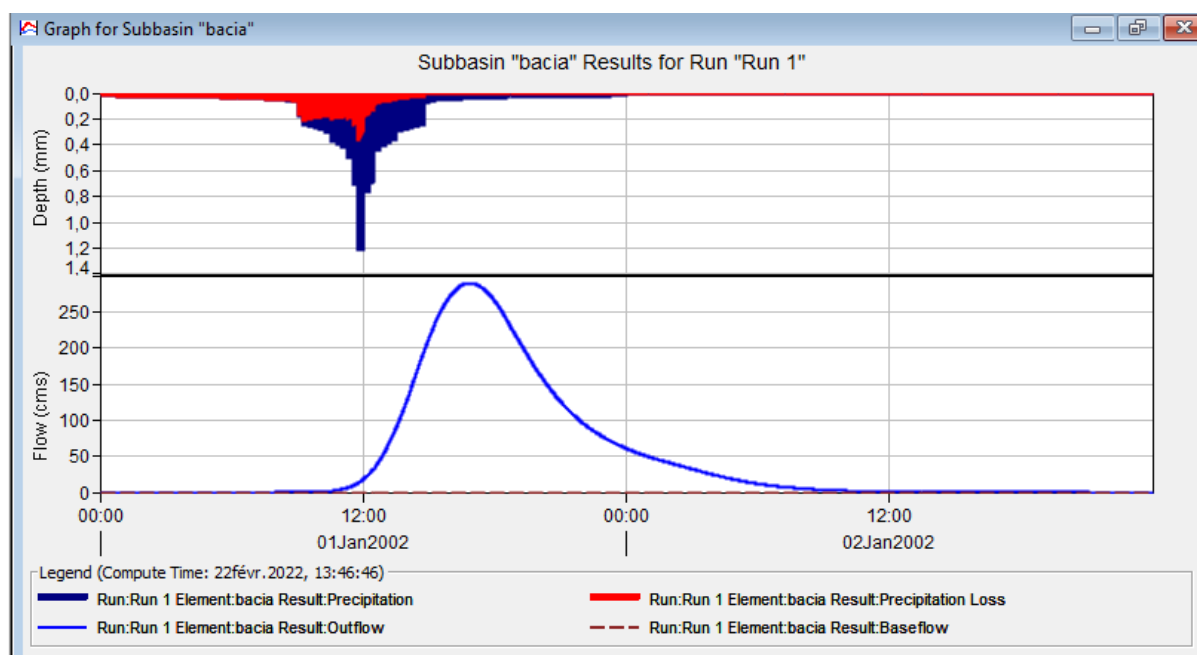


Figura 7 – Hidrograma de Cheia Centenária na Bacia da Ribeira da Boina

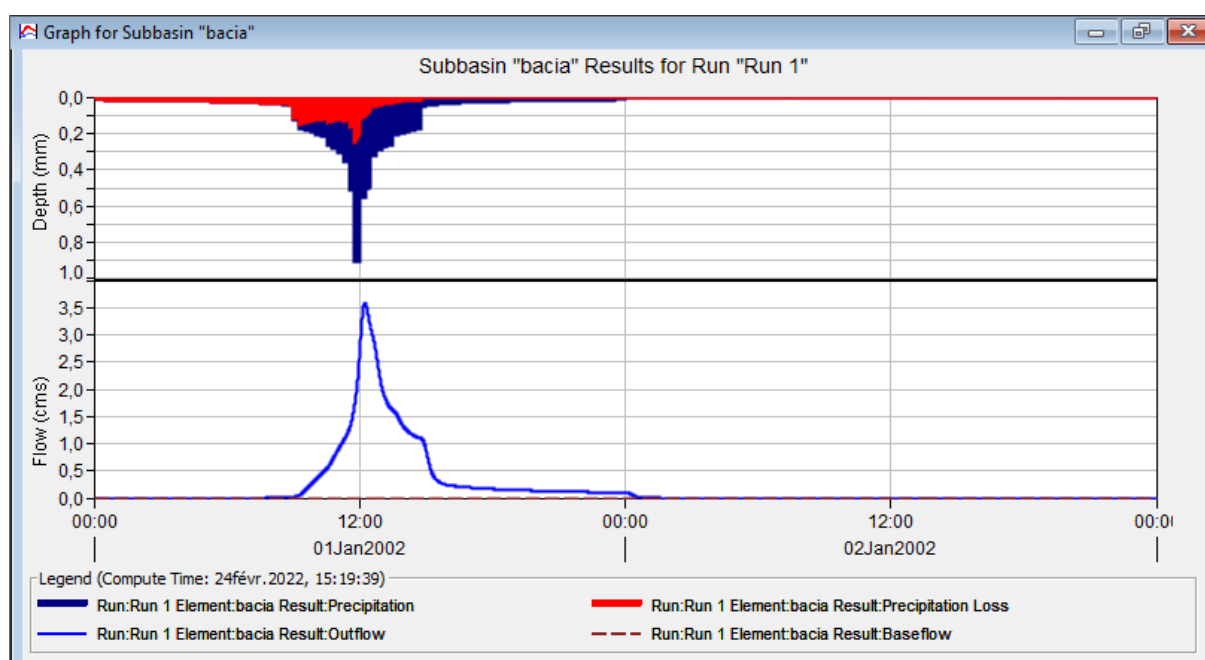


Figura 8 – Hidrograma de Cheia Centenária na Bacia da Praça da Ribeira do Arade

Os valores do caudal de ponta e do volume total de cada um destes hidrogramas são os que se indicam no Quadro 13.

Quadro 13 – Valores dos hidrogramas de cheia centenária

Bacia	Caudal de ponta (m ³ /s)	Volume (x 10 ³ m ³)
Praça do Arade	3,6	33,7
Ribeira da Boina	293	7976

3 ANÁLISE HIDRÁULICA DA RIBEIRA DA BOINA

Como se referiu no Capítulo 1, a APA pretende que seja considerado um nível máximo de + 4,5 para ter em conta a futura conjugação de uma preia-mar máxima com uma depressão atmosférica.

Segundo se julga, isto será aplicável junto à costa e nas secções de jusante do estuário do rio Arade, onde a influência do caudal fluvial não é significativa.

Porém, o troço da ribeira da Boina adjacente à Praça do Arade situa-se a 6 km de distância da atual foz do rio Arade, pelo que se quis despistar a eventual influência do caudal fluvial.

Como se mostra mais adiante, níveis marítimos superiores a + 4,00 farão com que o troço fluvial com comportamento puramente estuarino, ou seja, sem influência sensível dos caudais fluviais nos níveis máximos, se estendesse até à zona defronte da Praça do Arade.

Em todo o caso, considera-se que a conjugação de uma preia-mar máxima com uma depressão atmosférica excecional e com uma cheia centenária é algo que, não sendo impossível, tem uma probabilidade de ocorrência extremamente baixa. Assim, considerou-se suficiente admitir a conjugação simples de uma ponta de cheia centenária com uma preia-mar, tendo-se admitido para esta última a cota + 4,00.

Isto corresponde a uma elevação de 2,2 m do atual nível das águas do mar, correspondendo a uma composição de subida do Nível Médio do Mar na ocorrência de uma sobrelevação meteorológica de tempestade e respetiva ondulação, em linha com os cenários de alterações climáticas do IPCC mais conservadores.

Admitiu-se, pois, a cota +4,00 no mar e tentou-se estimar a elevação de nível que uma situação de cheia centenária provocaria ao longo dos 6 km que separam a foz do Arade da nossa zona de interesse, na Ribeira da Boina.

Ora, de acordo com os estudos hidrológicos realizados no Capítulo 2, a ponta de cheia centenária na seção da Ribeira da Boina defronte da Praça do Arade é de 293 m³/s.

Começou-se, pois, por estudar as condições de escoamento com este caudal nas secções S1 e S2, assinaladas nos Desenhos 1, 2 e 3, com o nível +4,00.

As ditas secções, com os referidos níveis, encontram-se representadas nas Figuras 9 e 10.

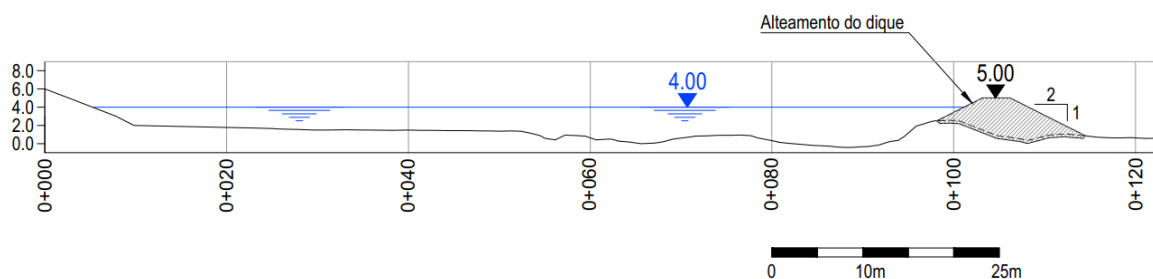


Figura 9 – Secção S1 da Ribeira da Boina

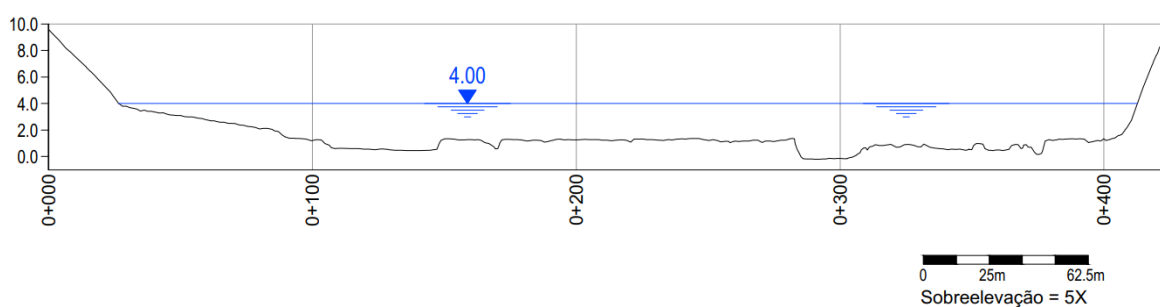


Figura 10 – Secção S2 da Ribeira da Boina

As características do escoamento nestas duas secções são as seguintes:

- Secção S1:
 - Caudal: 293 m³/s.
 - Nível: + 4,00
 - Área líquida: 266 m².
 - Perímetro molhado: 96 m.
 - Raio hidráulico: 2,77 m.
 - Velocidade do escoamento: 1,10 m/s.
- Secção S2:
 - Caudal: 293 m³/s.
 - Nível: + 4,00
 - Área líquida: 1059 m².
 - Perímetro molhado: 389 m.
 - Raio hidráulico: 2,73 m.
 - Velocidade do escoamento: 0,28 m/s.

Como se pode ver, a velocidade na secção S2, 200 m a jusante o dique em análise, é extremamente baixa e típica de uma situação estuarina, em que os movimentos de maré pesam muito mais do que os caudais fluviais.

Na secção S1, a velocidade já atinge um valor mais expressivo, marcando a transição para condições fluviais.

Aplicando a fórmula de Manning-Stickler com $K = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ às duas secções acima, obtiveram-se os seguintes valores da perda de carga unitária:

- $J1 = 2,55 \times 10^{-4}$.
- $J2 = 1,64 \times 10^{-5}$.

Sendo a distância entre as duas secções de 200, a perda de carga entre ambas será de aproximadamente $DH1 = (J1+J2) / 2 \times 200 = 0,03 \text{ m}$.

Na foz do Arade, com uma subida do nível do mar até à cota +4,00 (mais de 2 m acima da atual preia-mar) a velocidade induzida pelo caudal fluvial deverá ser virtualmente nula (mesmo com a contribuição da bacia do Arade), o mesmo sendo válido para a perda de carga unitária.

Assim, entre a secção S2 e a foz do Arade, a uma distância de cerca de 6000 m, a perda de carga pode ser estimada em $DH2 = J2 / 2 \times 6000 = 0,05 \text{ m}$.

Assim, a perda de carga total por via da cheia centenária seria $DH1 + DH2 = 0,08 \text{ m}$, pelo que o nível junto ao dique passaria a ser +4,08.

Trata-se de cálculos simplificados, com uma margem de erro percentualmente apreciável, mas os mesmos são suficientes para demonstrar que, em presença de uma subida do nível do mar tão expressiva, os caudais fluviais deixam de ser determinantes, pelo que a colocação do coroamento do dique à cota +5,00 será mais do que suficiente para garantir segurança em relação aos níveis na ribeira da Boina.

A montante do perfil S1, e já a montante do dique a altear, existem duas pontes: a velha e a nova da estrada N124.

A ponte nova é um viaduto de grande altura e com vãos generosos, mas a ponte antiga, pelo contrário, provoca um estrangulamento apreciável da secção de vazão, com quatro vãos estreitos em abóbada - Figura 11.

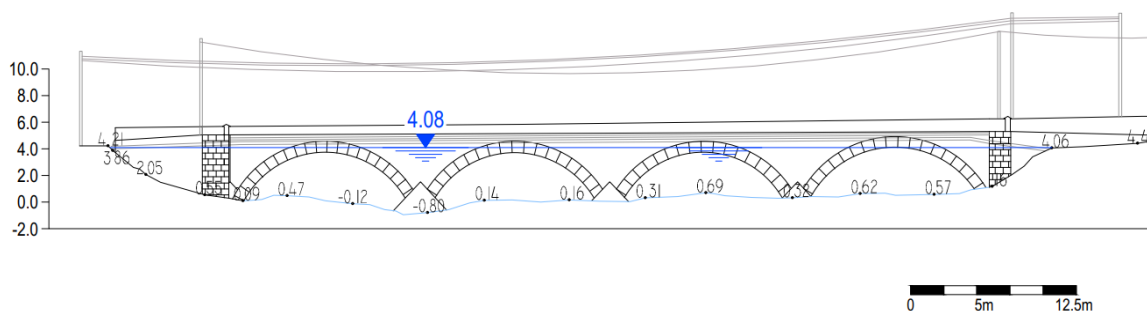


Figura 11 – Ponte Velha da N124

Com o nível a jusante à cota 4,08, atrás calculada para o perfil S1, todos os quatro vãos da ponte ficarão afogados, com uma área livre bruta de 124 m². Admitindo um coeficiente de contração de 0,7, a velocidade do escoamento através dos vãos da ponte, para a cheia centenária, será $236 / (0,7 \times 124) = 2,72$ m/s.

Sendo 1,10 m/s a velocidade do escoamento a jusante, no perfil S1, conclui-se que a perda de carga de Borda provocada pela ponte será da ordem de:

$$DH3 = (2,72 - 1,10)^2 / 2g = 0,13 \text{ m.}$$

Assim, o nível a montante da ponte velha seria $4,08 + 0,13 = + 4,21$, a qual continua a ser inferior à do dique alteado e, aliás, inferior à do aterro da estrada N124 (aproximadamente + 5,5 na margem esquerda).

4 REMODELAÇÃO E ALTEAMENTO DO DIQUE EXISTENTE

Nos Desenhos 2 e 3, indica-se a extensão do dique atual que deverá ser sobrelevada. No Desenho 5, apresenta-se a respetiva planta de pormenor e, no Desenho 6, apresentam-se os perfis transversais que mostram a constituição do alteamento e que permitiram calcular o volume de aterro a executar.

O comprimento total de dique a altear é de 444 m e o volume de material de aterro necessário é de 16 000 m³.

Existe, nas imediações, material de aterro com baixa permeabilidade em quantidade suficiente.

Sem prejuízo de uma melhor avaliação posterior das suas características geotécnicas, admitiu-se, nesta fase, que ambos os paramentos do dique ficarão com taludes a 1V:2H e que o coroamento terá 3 m de largura.

5 OBRAS DE CONTROLO DAS ÁGUAS PLUVIAIS INTERIORES AO DIQUE

De acordo com o estudo hidrológico apresentado no Capítulo 2, a cheia produzida pela bacia interior ao dique em resultado de uma precipitação centenária com 24 h de duração tem o hidrograma apresentado na Figura 8, com 3,6 m³/s de caudal de ponta e 33 700 m³ de volume.

Como se vê na dita figura, a maior parte deste volume ocorre ao longo de um período de 6 horas, ou seja, mais ou menos a duração de uma preia-mar (tempo consecutivo que o nível do mar se situa acima da cota zero). Assim, e estando a planície de acumulação entre o dique e Praça do Arade (Foto 1) pouco acima da cota zero (aprox. +0,50), o que faz com que sua comporta de maré (Figura 2) permaneça fechada durante a preia-mar, os 33 700 m³ de água pluvial poderão ter que ficar temporariamente acumulados na dita planície, se a cheia coincidir exatamente com uma preia-mar.

Sendo a área da planície de 80 000 m², a altura de água resultante da acumulação de 33 700 m³ será de apenas 0,42 m.

Assim, nessa situação extrema, a água subiria, no máximo, até à cota 0,50 + 0,42 = + 0,92, a qual se encontra muito abaixo da cota da zona edificada (+ 2,30). Ou seja, teriam que ocorrer múltiplas cheias centenárias em sequência para que a cota +2,30 fosse atingida. No entanto, não só tal acontecimento tem uma probabilidade de ocorrência desprezável, como, durante o período de maré, a comporta de maré de 0,80 x 0,80 m² tem suficiente capacidade para drenar totalmente as águas pluviais acumuladas durante a maré alta.

Os cálculos que foram feitos para verificar isto são confirmados pelo histórico do local, dado que, segundo os relatos dos residentes locais, nunca se registou uma inundação prolongada desta planície com 80 000 m² de área e as que ocorrem têm sempre pouca profundidade.

No entanto, com a admitida subida futura do nível médio das águas do mar, a situação tornar-se-á mais desfavorável, porque o período diário de maré em que o nível estará acima da cota da planície (+0,50) passará a ser mais prolongado e, em contrapartida, o período em que a maré está abaixo e os volumes pluviais acumulados podem ser drenados irá ser mais curto.

A situação atual de maré, segundo as tabelas do Instituto Hidrográfico da Marinha, é, sensivelmente a seguinte:

- Maré alta máxima: aprox. +1,80
- Preia-mar média de águas-vivas: aprox. +1,50
- Preia-mar média de águas mortas: aprox. +0,60
- Nível médio das águas do mar 0,00
- Baixa-mar média de águas mortas: aprox. – 0,60
- Baixa-mar média de águas-vivas: aprox. –1,50.
- Maré baixa mínima: aprox. – 1,80.

Ou seja, tal como se referiu atrás, o nível está, todos os dias, mais de metade do tempo abaixo de cota +0,50, sendo que, nas marés mortas, o poderá estar quase todo o dia.

Porém, se, no futuro, houver uma elevação de 2,2 m do nível das águas do mar, como admitido no Capítulo 3, todos os níveis da tabela anterior sofrerão uma subida idêntica, passando a situação a ser a seguinte:

- Maré alta máxima: aprox. +4,00
- Preia-mar média de águas-vivas: aprox. +3,70
- Preia-mar média de águas mortas: aprox. +2,80
- Baixa-mar média de águas mortas: aprox. + 1,60
- Baixa-mar média de águas-vivas: aprox. + 0,70
- Maré baixa mínima: aprox. + 0,40

Sendo + 0,50 m a cota do rasto da zona alagável, verifica-se que, nesta situação, os níveis de maré nunca, ou muito raramente, serão inferiores a essa cota, pelo que as comportas de maré não conseguirão drenar completamente a área alagável. Ou seja, passará a haver um certo nível de alagamento permanente, a menos que seja instalada uma estação de bombagem.

Esse alagamento permanente poderá vir a ser considerado inconveniente, por motivos de salubridade (tempo excessivo de estagnação da água) ou estéticos. No entanto, a questão central do presente estudo não é essa, mas sim a da segurança contra inundações do edificado, a qual, como se mostra seguidamente, pode ser assegurada sem bombagem.

De facto, tendo em conta, que o período em que a comporta de maré pode assegurar drenagem poderá diminuir significativamente com a subida do nível do mar, propõe-se que, durante o alteamento do dique, que implicará a substituição da atual estrutura de suporte da comporta de maré – Figura 2, esta seja substituída, por duas DN1000, o que corresponde a multiplicar por 2,5 a secção de vazão da comporta única atualmente em serviço (0,80 x 0,80 m²).

As novas comportas a instalar serão do tipo das ilustradas pela Figura 12. Para terem uma boa resistência à salinidade, as mesmas deverão ser em PEAD.

O aqueduto duplo DN1000 sobre o qual as comportas serão instaladas terá a constituição aproximada que se apresenta no Desenho 7, já adaptada ao dique alteado para a cota + 5,00.

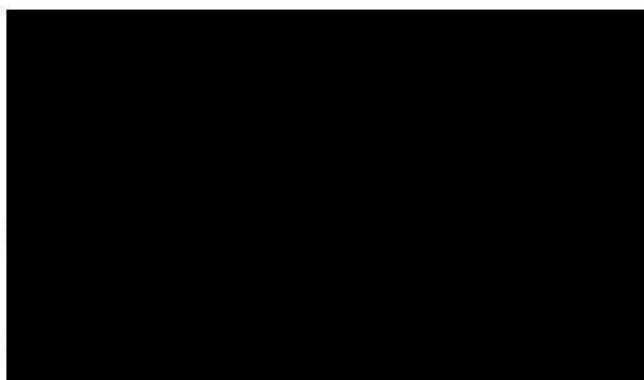
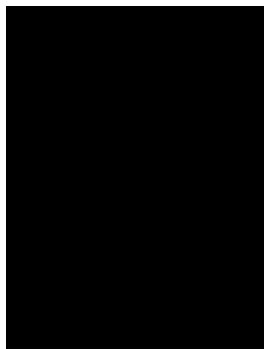


Figura 12 – Comportas de maré em PEAD a instalar

As comportas só deixarão passar caudal quando o nível de maré (N_m) for inferior ao nível de alagamento da planície (N_p), tal como se vê no corte longitudinal do Desenho 7.

Como a soleira das comportas (e a das condutas DN1000 do aqueduto de betão) se situará à cota 0,00, o aqueduto funcionará em seção cheia quando o nível de maré for superior a +1,00, o que, no cenário de subida do nível do mar atrás caracterizado, será a situação mais frequente.

Para calcular a equação de vazão correspondente a esta situação, admitiu-se que, nos períodos de abertura das comportas de maré, o diferencial de nível $N_p - N_m$ corresponderia à somas das seguintes perdas de carga:

- Perda de carga localizada na entrada do aqueduto, considerada igual a 50% da altura cinética do escoamento no interior das condutas.
- Perda de carga continua, ao longo dos 17,5 m de comprimento das condutas, calculada por meio da fórmula de Manning-Strickler com $K = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

- Perda de carga localizada na saída do aqueduto, considerada igual a 100% da altura cinética do escoamento no interior das condutas.

A equação de vazão assim obtida foi $Q = 5,3 (N_p - N_m)^{0,5}$.

Para investigar o funcionamento deste aqueduto duplo DN1000 com comportas de maré, escolheu-se um período de marés-mortas, o qual, para este efeito, será o mais desfavorável, porque minimiza o tempo durante o qual as comportas conseguem estar abertas.

A partir das tabelas de maré atuais, analisaram-se vários períodos do ano e fizeram-se várias simulações, tendo a escolha da situação mais desfavorável recaído sobre o período de 10 a 16 de janeiro, o qual, somando 2,2 m de elevação do nível das águas do mar aos valores das tabelas atuais, produz o hidrograma de maré que se apresenta na Figura 13.

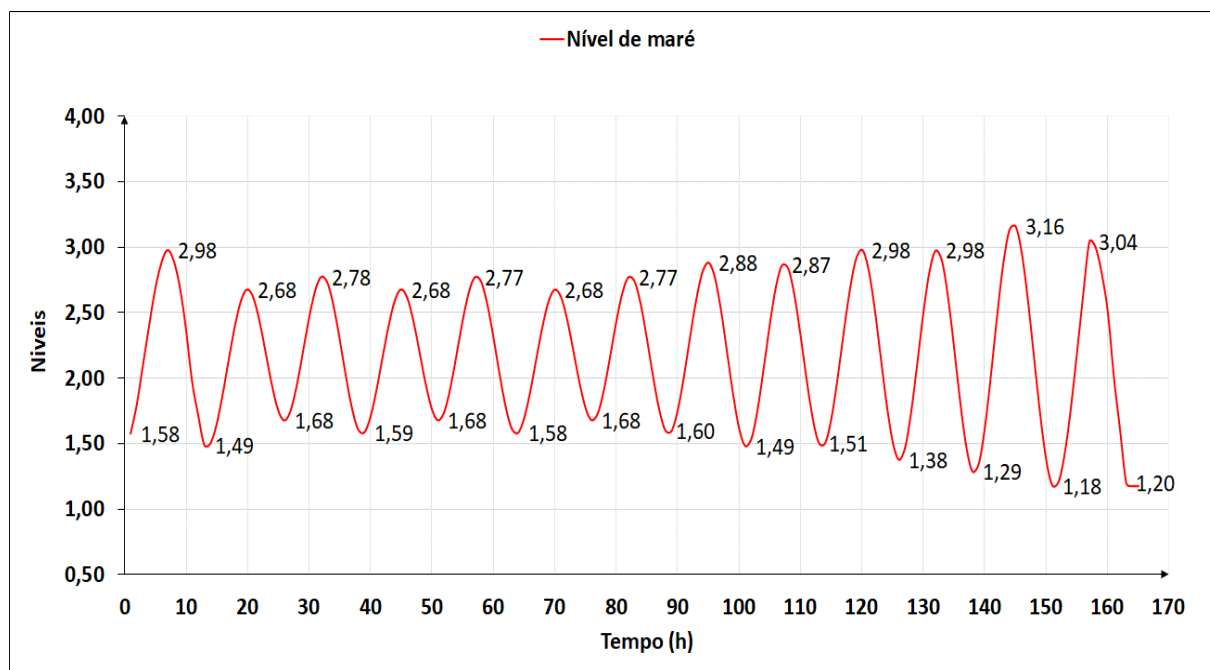


Figura 13 – Hidrograma de maré futuro para o período de 10 a 16 de janeiro

De notar que, neste período, haverá cerca de três dias consecutivos com marés mortas que não descerão abaixo da cota + 1,5 ou +1,6, obrigando a que só haja drenagem da zona alagada com níveis superiores.

De notar, também, que o nível de maré nunca desce abaixo da cota +1,00, o que permite aplicar dentro das suas condições de validade a equação de vazão acima deduzida.

Para testar o que poderia acontecer nesta situação, se houvesse coincidência com cheias na bacia interior, fez-se uma simulação nas seguintes condições:

- Nível inicial na zona alagada à cota + 1,50 (em consequência de hipotéticos eventos anteriores).
- Ocorrência de duas cheias centenárias consecutivas resultantes de precipitações com 24 h de duração (dois hidrogramas iguais ao da Figura 8), com apenas 24 h de intervalo entre si (note-se que isto é algo verdadeiramente extremo, com uma probabilidade de ocorrência extremamente baixa).

Os resultados desta simulação são mostrados na Figura 14.

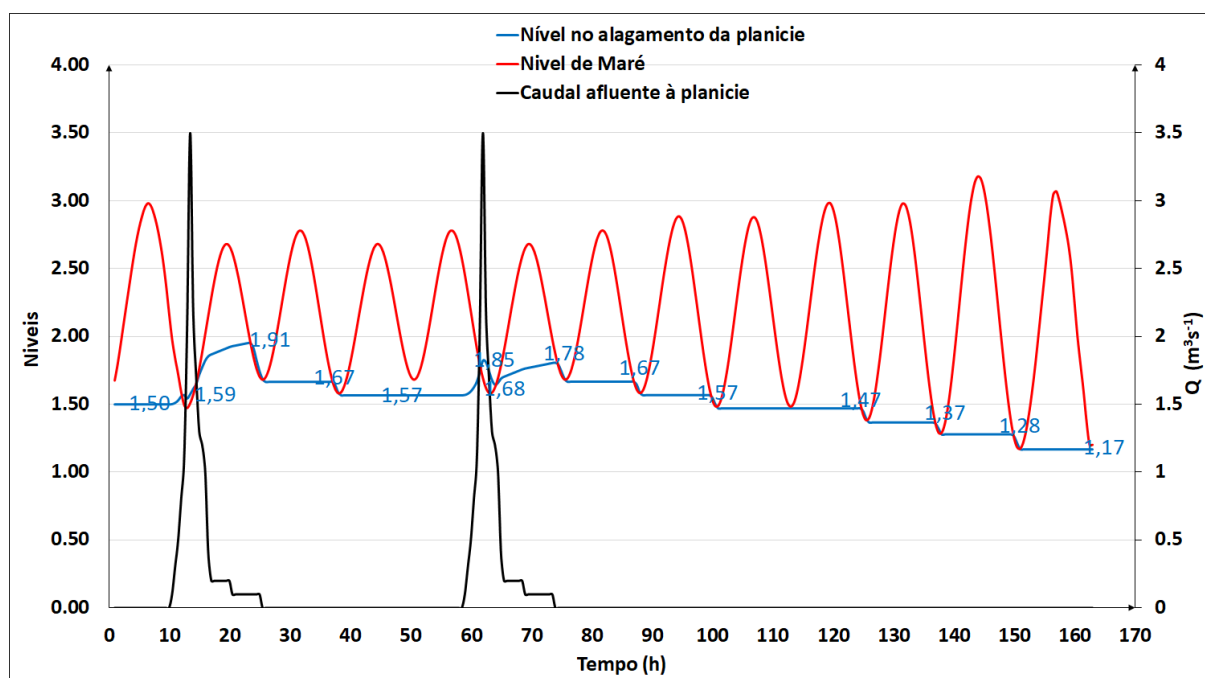


Figura 14 – Simulação da conjugação de cheias centenárias com uma semana de marés mortas.

Verifica-se que, em consequência das duas cheias consecutivas, o nível na planície sobe até à cota +1,91, mantendo-se o nível acima da cota +1,50 durante os primeiros quatro dias.

No entanto, nos restantes dias até ao fim da semana, a ocorrência de marés de maior amplitude permite que, durante a maré baixa, o alagamento acumulado na planície vá sendo aliviado, descendo até à cota + 1,17, o que corresponde a uma profundidade de 0,67 m.

Esvaziamentos muito abaixo desta passarão a só poder ocorrer por efeito de evaporação continuada, ao longo de longos períodos sem precipitação (estiagem).

Assim, a título de conclusão, recomenda-se o seguinte:

- Após alteamento do dique e construção do novo aqueduto de descarga de maré (2xDN1000), a zona da Praça Principal do Arade e o seu edificado permanecerão em segurança, desde que planície de inundação seja mantida livre.
- Ainda assim, e para haver 0,4 m de folga mínima em relação à inundação máxima (já em situação futura de fortes alterações climáticas), **recomenda-se que os pavimentos das zonas edificadas não se situem, nunca, abaixo da cota +2,3** (esta é, aliás, a cota mais baixa do estradão existente).
- Até cerca de 1,5 m de subida do nível médio das águas do mar, as comportas de maré permitirão, com maior ou menor atraso, drenar completamente a planície de inundação, após acumulação devida a um período pluvioso.
- Para subidas maiores do nível do mar, se vierem a ocorrer no futuro, a inundação parcial da planície poderá vir a tornar-se permanente, ou de longa duração.
- Se se entender que isso irá acarretar inconvenientes, de salubridade ou outros, a questão poderá, então, ser resolvida mediante a construção de uma estação elevatória.

Note-se que, numa situação de forte subida do nível do mar como a atrás admitida, a segurança conta a inundação das edificações à cota + 2,3 ficará totalmente dependente das comportas de maré. Assim, entendeu-se ser prudente colocar comportas murais de isolamento nas entradas das condutas DN1000 – ver Desenho 7.

Essas comportas poderão ser acionadas em caso de avaria das comportas de maré e permitirão, também, a manutenção ou substituição destas últimas.

Note-se que, para futuras subidas fortes do nível do mar, a manutenção ou a substituição das comportas de maré poderão ter que ser feitas aos abrigo de ensecadeiras provisórias de aterro.

6 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

Nesta fase preliminar, realizou-se apenas uma estimativa orçamental grosseira das obras a construir, baseada nas principais quantidades de materiais e de equipamentos necessários:

Tem-se, assim:

A) Alteamento do dique:

- Decapagem da fundação: $2100 \text{ m}^3 \times 3,5 \text{ euros/m}^3 = 7\,350 \text{ euros}$.
- Aterro compactado: $16\,000 \text{ m}^3 \times 7,5 \text{ euros/m}^3 = 120\,000 \text{ euros}$
- **TOTAL A: 127 350 euros.**

B) Estrutura com comportas de maré:

- Demolição da estrutura existente: 3800 euros.
- Betão armado, incluindo armadura e cofragens: $21 \text{ m}^3 \times 300 \text{ €/m}^3 = 6300 \text{ euros}$.
- Betão de regularização: $4 \text{ m}^3 \times 80 \text{ euros/m}^3 = 320 \text{ euros}$.
- Conduatas pré-fabricadas de betão DN1000: $35 \text{ m} \times 100 \text{ euros/m} = 3\,500 \text{ euros}$.
- Comportas de Maré DN1000 : $2 \times 6500 = 13\,000 \text{ euros}$.
- Comportas murais DN1000: $2 \times 13\,000 = 26\,000 \text{ euros}$.
- **TOTAL B: 52 920 euros.**

C) Estaleiro: 27 000 euros.

- Total C: 27 000 euros.

TOTAL DE BASE: TOTAL A + TOTAL B + TOTAL C = 202 270 euros.

Para ter em conta diversos e imprevistos não especificados nesta fase, optou-se por adicionar uma margem de 15%, o que, com arredondamento, conduz a **240 000 euros**.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo mostra que, num futuro cenário de elevação de 2,2 m do nível das águas do mar, o que corresponde a uma composição de subida do Nível Médio do Mar na ocorrência de uma sobrelevação meteorológica de tempestade e respetiva ondulação em linha com os cenários de alterações climáticas do IPCC mais conservadores, e mesmo em caso de conjugação de uma preia-mar com uma cheia centenária na Ribeira da Boina, o alteamento do dique existente para a cota + 5,00 será suficiente para evitar a inundação da Praça do Arade.

Por isso, apresenta-se o estudo preliminar e a pré-orçamentação desse alteamento.

Quanto a inundações causadas pelas águas pluviais interiores ao dique, mostra-se que a segurança das edificações pode ser assegurada substituindo a atual descarga com comporta de maré de 0,80 x 0,80 m² por uma estrutura nova equipada com duas comportas de maré DN1000.

Por isso, apresenta-se o estudo preliminar e a pré-orçamentação dessa nova estrutura.

Porém, não deverão ser implantadas edificações abaixo da cota + 2,30 e a atual planície de acumulação de águas pluviais, com 80 000 m² de área média, deverá ser mantida livre de construções e totalmente desimpedida.

Com a ocorrência de uma futura elevação de 2,2 m do nível do mar, a planície de acumulação no tardoz do dique passará a ter uma base de inundação quase permanente por volta da cota + 1,00, podendo subir transitoriamente até à cota + 1,90 durante precipitações excecionais.

Se a permanência de inundação parcial da planície for julgada inconveniente, por motivos de salubridade ou outros, o problema só poderá ser resolvido com uma estação de bombagem. Porém, tal problema só se colocará se, e quando, esta elevação do nível do mar for de 1,5 m em relação à situação atual.

Estimou-se ser necessário um investimento de 240 000 euros (apenas custos de construção) para fazer o alteamento do dique e a construção da nova estrutura de descarga de maré.

Lisboa, fevereiro de 2022

A Equipa de Projeto

Projetou:

Anouar Kouachi,
Engenheiro Hidráulico

Verificou:

Mário Samora
Engenheiro Civil, Especialista OE em Hidráulica e Recursos Hídricos

Aprovou:

Mário Samora

Engenheiro Civil, Especialista OE em Hidráulica e Recursos Hídricos



TPF - CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S.A.
Rua Laura Alves, N.º 12 - 8º-1050-138 Lisboa, Portugal
Tel. +351 218 410 400
Fax +351 218 410 409
geral@tpf.pt