



882.0

ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

CÂMARA MUNICIPAL DE VILA DO CONDE | CLIENTE

PONTE SOBRE O RIO ESTE, EM ARCOS | PROJECTO

GEG

ARCOS, VILA DO CONDE | LOCAL

PROJETO EXECUÇÃO | INTERVENÇÃO

OBRA DE ARTE | OBSERVAÇÕES

SETEMBRO 2016 | DATA





PONTE SOBRE O RIO ESTE, EM ARCOS

OBRA DE ARTE

PROJETO DE EXECUÇÃO

ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	2
2. ESTUDO HIDROLÓGICO.....	4
2.1. BACIA HIDROGRÁFICA.....	4
2.2. CÁLCULO DOS CAUDAIS DE PONTA	5
3. ESTUDO HIDRÁULICO	10
3.1. CONDIÇÕES DE VAZÃO EXISTENTES.....	10
3.2. ANÁLISE DO ESCOAMENTO – CAPACIDADE DE VAZÃO.....	10
3.3. INTERACÇÃO DO ESCOAMENTO COM OS PILARES DA OBRA	15
3.4. ESTUDO HIDRÁULICO EFETUADO PARA A SITUAÇÃO SEM A RESTRIÇÃO DA OBRA DE ARTE:	16
3.5. CONCLUSÕES	18
4. BIBLIOGRAFIA.....	19

1. INTRODUÇÃO

A construção da nova Ponte Sobre o Rio Este coloca questões quanto à influência recíproca entre a linha de água e a obra, essencialmente em situações de emergência como quase sempre são as ocorrências das cheias.

A nova Ponte Sobre o Rio Este localiza-se na freguesia de Arcos, concelho de Vila do Conde.

Relativamente ao comportamento do rio Este face à nova situação a criar, interessa avaliar a influência do escoamento nos elementos projetados e analisar a possibilidade de agravamento das condições de escoamento em situações de cheia, provocadas pela presença da obra.

Para realizar estes objetivos foi necessário proceder a estudos hidrológicos centrados na quantificação de caudais de cheia para diversos períodos de retorno. O cálculo dos caudais de ponta foi efetuado por aplicação de fórmulas empírico-cinemáticas, com base no estudo de precipitações extremas.

Com esses caudais, analisou-se as condições de escoamento, tendo em atenção as informações disponíveis, e estimou-se velocidades de escoamento a ter em conta no dimensionamento das estruturas relevantes.

Os dados disponíveis para a realização deste estudo foram o levantamento topográfico a clássico, realizado na zona de implantação da obra e posteriormente complementado com o levantamento do leito, as cartas militares à escala 1/25000 da região onde se desenvolve a bacia hidrográfica, fotografias e informações recolhidas numa visita ao local. As curvas I-D-F, para estimar a intensidade de precipitação máxima correspondente a uma determinada duração, foram retiradas do *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*.

As fotos seguintes ilustram o local de implantação da nova travessia.

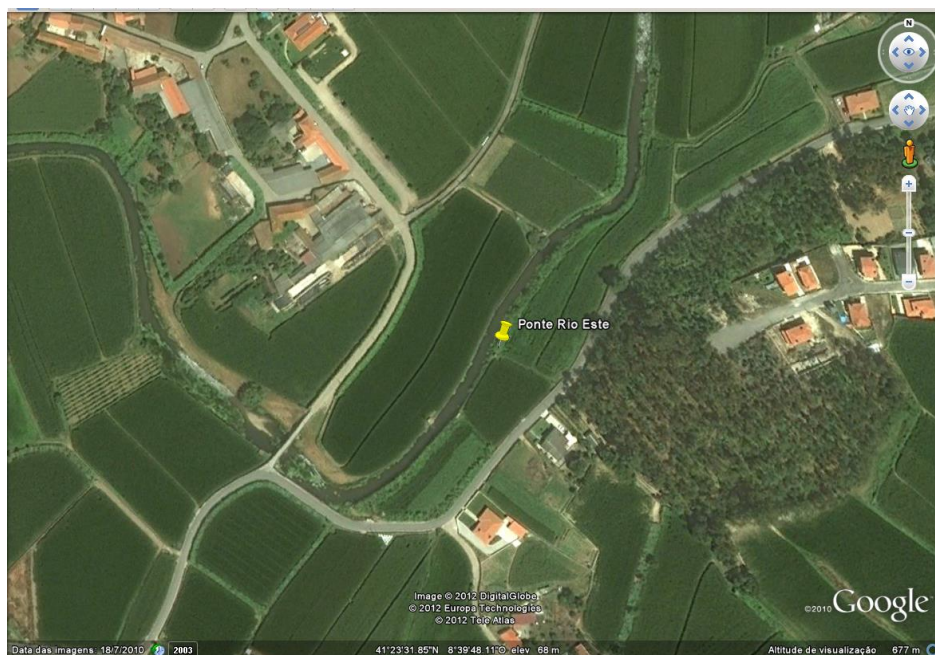


Figura 1 – Vista aérea do local de implantação da obra.



Figura 2 – Vista do rio Este, para montante, no local da nova travessia.

Ponte sobre o Rio Este, em Arcos. Obra de Arte. Projeto de Execução.
Estudo Hidrológico e Hidráulico.

2. ESTUDO HIDROLÓGICO

2.1. BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia em estudo apresenta uma área de 214,93 km² e desenvolve-se entre as altitudes 569m, no seu ponto mais elevado, e 34m na secção em estudo, na qual o rio apresenta um desenvolvimento de aproximadamente 46,58km.

No Quadro 1, apresenta-se os parâmetros da bacia hidrográfica necessários para aplicação dos métodos cinemáticos.

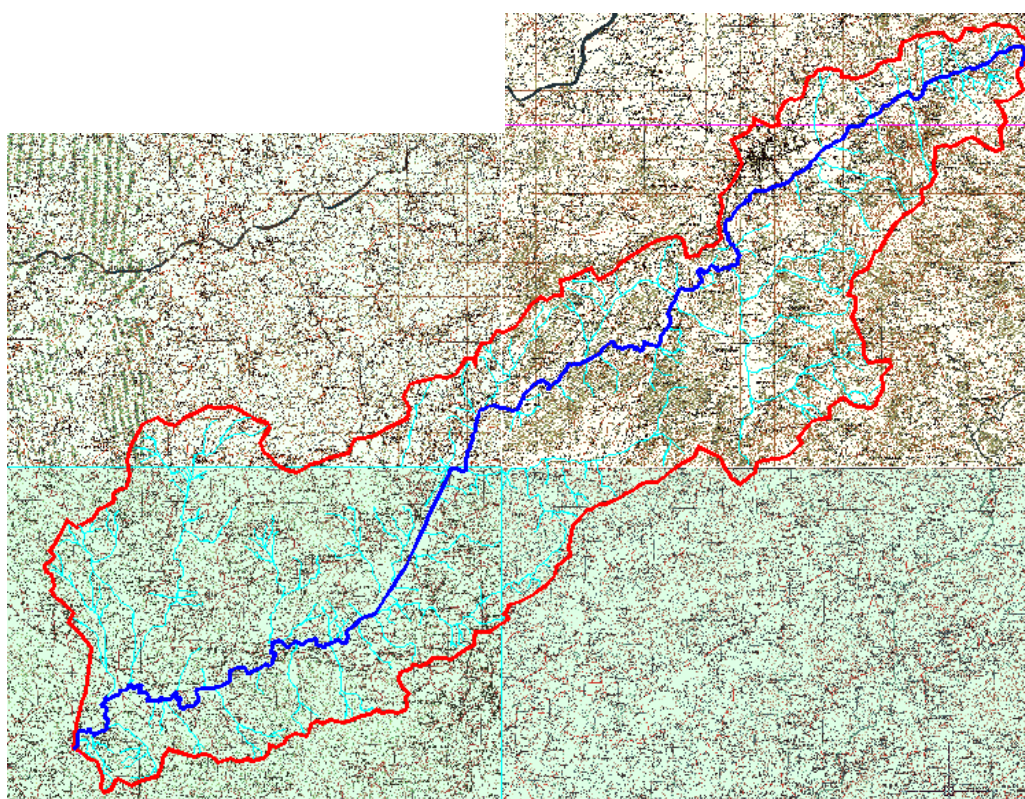


Figura 3 – Bacia hidrográfica da nova Ponte Sobre o Rio Este

Quadro 1 – Características da bacia hidrográfica da nova Ponte Sobre o Rio Este.

BACIA HIDROGRÁFICA		
Área da bacia hidrográfica - A	214,932	Km ²
Desenvolvimento Linha de água principal - L	46,576	Km
Altitude máxima da bacia - Z _{máx}	569,000	m
Altitude na secção em estudo - Z _{mín}	34,000	m
Alt. correspondente 10% do L da linha de água principal - Z ₁₀	210,000	m
Alt. correspondente 85% do L da linha de água principal - Z ₈₅	50,000	m
Altitude máxima da linha de água principal	510,000	m
Declive médio da linha de água principal - d _m	0,010	m/m
Declive médio da linha de água principal entre 10% e 85% do L - d _{10:85}	4,580	m/Km
Altura média da bacia - H _m	267,500	m

2.2. CÁLCULO DOS CAUDAIS DE PONTA

Para cálculo dos caudais de ponta, atendendo à moderada dimensão da bacia hidrográfica, aplicou-se o método empírico-cinemático condensado na Fórmula Racional.

Para o cálculo da intensidade de precipitação, adotou-se a expressão regulamentar:

$$I = a t^b$$

Nessa expressão, 'I' é a intensidade de precipitação, em mm/h, 't' o tempo da chuvada, em minutos e 'a' e 'b' parâmetros que dependem da região do país e dos períodos de retorno a considerar.

Para o cálculo das intensidades de precipitação, considerou-se que a duração da chuvada crítica é idêntica ao tempo de concentração da bacia. A estimativa do tempo de concentração da bacia hidrográfica foi efectuada por aplicação das fórmulas de Temez, do NERC (National Environment Research Council) e a fórmula de Giandotti, a seguir explicitadas:

Fórmula de Temez: $t_c = 0.3 \left(\frac{L}{d_m^{0.25}} \right)^{0.76}$

Fórmula do NERC: $t_c = 2.8 \left(\frac{L}{\sqrt{d_{10:85}}} \right)^{0.47}$

Fórmula de Giandotti: $t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}}$

Quadro 2 – Tempo de concentração

Fórmulas Utilizadas	tc (horas)
Fórmula de Temez	13,278
Fórmula do NERC	11,909
Fórmula de Giandotti	9,821
Média das 3 fórmulas	11,670

O quadro seguinte apresenta a intensidade de precipitação para diversos períodos de retorno e para a duração da chuvada correspondente ao tempo de concentração acima calculado:

Quadro 3 – Intensidade de precipitação

T retorno (anos)	Constantes		Intensidade (mm/h)
	a	b	
2	202,72	-0,577	4,63
5	259,26	-0,562	6,53
10	290,68	-0,549	7,97
50	349,54	-0,524	11,29
100	365,62	-0,508	13,11

2.2.1. Método da Fórmula Racional

Por este método, o valor do caudal de ponta é dado pela expressão:

$$Q_p = \frac{CIA}{3,6}$$

O valor de C, coeficiente de escoamento, traduz a percentagem da água proveniente da precipitação que efectivamente vai passar pela secção de vazão em estudo. A restante parte é absorvida pelo terreno, evaporada ou armazenada. Embora uma elevada percentagem do solo nesta bacia seja de características agrícolas ou florestais, é de admitir que, após um período longo de precipitação, o solo esteja próximo da sua capacidade máxima de saturação, reduzindo a capacidade de absorção. Assim sendo, após uma ponderação de todos estes factores, optou-se por considerar um coeficiente de escoamento de 0,40 para esta bacia hidrográfica, em situação de cheia.

Para os períodos de retorno considerados, foi então determinado o caudal correspondente:

Quadro 4 – Caudal de ponta (fórmula racional)

T retorno (anos)	C	Intensidade (mm/h)	Caudal (m3/s)
2	0,40	4,63	110,48
5	0,40	6,53	155,88
10	0,40	7,97	190,31
50	0,40	11,29	269,57
100	0,40	13,11	313,13

Através de uma linha de tendência logarítmica, interpola-se o valor do caudal para um período de retorno de 25 anos.

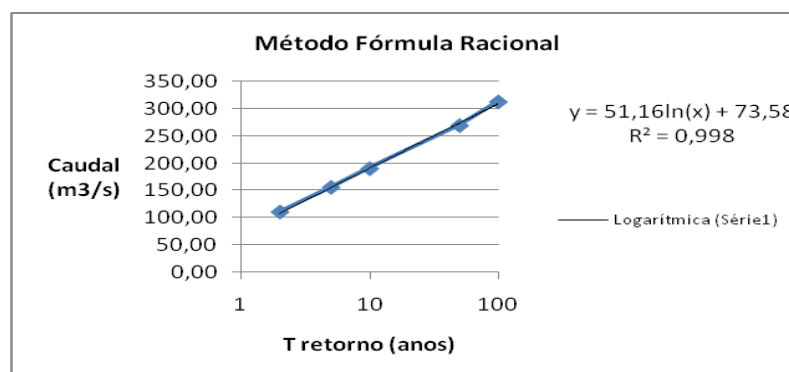


Figura 4 – Interpolação do caudal para o período de retorno de 25 anos (238,26 m³/s)

Ponte sobre o Rio Este, em Arcos. Obra de Arte. Projeto de Execução.
 Estudo Hidrológico e Hidráulico.

2.2.2. Método do American Soil Conservation Service

A formulação proposta pelo Soil Conservation Service, dos E.U.A., consiste da seguinte expressão:

$$Q_p = 0,277 \times k \times A \times h_u / t_p$$

Nesta fórmula 'k' é um factor de ponta, que para bacias medianamente declivosas pode tomar o valor 0,75. 'A' é a área da bacia, em km², h_u é o valor da altura útil de precipitação em mm e t_p o tempo para ponta, em horas.

Para o cálculo dos caudais torna-se necessário determinar a altura útil de precipitação (h_u), a partir da precipitação total (produto do tempo de concentração pela intensidade de precipitação). Para uma dada precipitação total, h, a altura útil é dada por:

$$h_u = \frac{(h - h_0)^2}{h + 4h_0}$$

Em que 'h₀' indica as perdas iniciais da chuvada. O S.C.S. sugere para o seu cálculo:

$$H_0 = 5080 / N - 50,8$$

Em que 'N' é o número de escoamento que, no caso presente e de acordo com a região em que está a bacia, toma o valor de 75, valor este que corresponde a condições médias de humedecimento do solo.

Temos assim:

$$H_0 = 5080 / 75 - 50,8 = 16,93 \text{ mm}$$

O tempo de crescimento até à ponta é dado por:

$$t_p = \frac{1}{2} \times t_r + 0,6 \times t_c$$

A duração da chuvada t_r é calculada por subtracção da duração total do tempo necessário para choverem as perdas iniciais:

$$t_r = t_c - H_o / I$$

Quadro 5 – Caudal de ponta (American Soil Conservation Service)

T retorno (anos)	Hu (mm)	t_r (h)	t_p (h)	Caudal (m3/s)
2	11,28	8,01	11,01	45,76
5	24,38	9,08	11,54	94,36
10	35,99	9,54	11,77	136,50
50	66,06	10,17	12,09	244,06
100	83,88	10,38	12,19	307,25

2.2.3. Valores adotados

Verifica-se que os valores obtidos pelo método da **Fórmula Racional** são superiores, pelo que se optou, conservativamente, por considerá-los no prosseguimento do estudo.

O valor do caudal é depois multiplicado por um coeficiente de ajustamento K que funciona como um valor correctivo para ter em conta situações mais gravosas do que as seria de esperar em ocorrências normais.

Para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos, os valores adotados para o coeficiente de ajustamento K (de acordo com o Manual de Drenagem Superficial em Vias de Comunicação, IEP 2001), e os caudais de dimensionamento encontram-se definidos no quadro seguinte:

Quadro 6 – Caudal de cálculo

T retorno (anos)	Caudal (m3/s)	Coef. Ajust. (-)	Caudal Cálculo (m3/s)
25	238,26	1,10	262,08
50	269,57	1,20	323,48
100	313,13	1,25	391,41

3. ESTUDO HIDRÁULICO

3.1. CONDIÇÕES DE VAZÃO EXISTENTES

O levantamento topográfico realizado na zona de implantação da ponte permite definir as características do relevo com uma precisão compatível com os fins em vista. Condições de escoamento diferentes, quer a montante quer a jusante, terão uma influência limitada na valia das conclusões abaixo apresentadas. Na zona da obra pode afirmar-se que as condições de escoamento são relativamente uniformes.

3.2. ANÁLISE DO ESCOAMENTO – CAPACIDADE DE VAZÃO

A curva de vazão apresentada – ver Figura 6 – foi traçada com base num modelo de cálculo que pressupõe um regime de escoamento uniforme, e que consiste na aplicação iterativa da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = K A R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

em que,

Q – caudal (m³/s)

K – coeficiente de rugosidade (m^{1/3}/s)

A – Secção do escoamento (m²)

R – raio hidráulico (m)

i – declive médio do leito (m/m).

O declive médio nas proximidades da secção em estudo foi considerado igual a 0,00129 m/m. Para o coeficiente de rugosidade K, que traduz a rugosidade do leito e das margens, e através de consulta de bibliografia especializada [2], foram encontrados os seguintes valores, em correspondência com as características do curso de água em estudo:

- Paredes muito rugosas: terra irregular com ervas, rios regulares em leito rochoso – K = 50 m^{1/3}/s

Analisando a configuração da secção de vazão ilustrada na Figura 5, achou-se conveniente dividir a secção em várias subsecções, nas quais se pudesse assumir que o escoamento ocorre com características mais uniformes. A capacidade total de vazão obtém-se pela soma dos caudais de cada uma das secções parciais.

A curva de vazão para a secção de implantação da obra de arte, foi obtida para alturas de escoamento múltiplas de 0,5m e sempre referentes ao talvegue do curso de água. Para efeitos comparativos, apresenta-se, igualmente, na figura 6, a curva de vazão para a secção em estudo mas sem a restrição causada pela ponte.

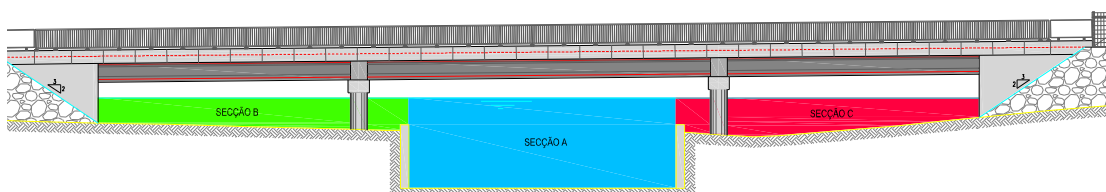


Figura 5 – Divisão da secção de vazão em três subsecções

Quadro 7 – Capacidade de vazão da secção A

Altura [m]	Secção [m ²]	Perímetro [m]	Raio Hidr. [m]	Caudal [m ³ /s]	Veloc. [m/s]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	6,30	13,60	0,46	6,77	1,08
1,00	12,60	14,60	0,86	20,51	1,63
1,50	18,90	15,60	1,21	38,57	2,04
2,00	25,20	16,60	1,52	59,78	2,37
2,50	31,50	17,60	1,79	83,39	2,65
3,00	37,80	17,93	2,11	111,62	2,95
3,50	44,10	17,93	2,46	144,32	3,27
4,00	50,40	17,93	2,81	180,29	3,58
4,50	56,70	17,93	3,16	219,39	3,87
5,00	63,00	17,93	3,51	261,51	4,15
5,50	69,30	17,93	3,87	306,53	4,42

Quadro 8 – Capacidade de vazão da secção B

Altura	Secção	Perímetro	Raio Hidr.	Caudal	Veloc.
[m]	[m2]	[m]	[m]	[m3/s]	[m/s]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	1,54	11,12	0,14	0,74	0,48
3,50	8,29	15,68	0,53	9,74	1,17
4,00	15,14	17,18	0,88	25,00	1,65
4,50	21,99	18,68	1,18	44,04	2,00
5,00	28,84	20,18	1,43	65,73	2,28
5,50	35,69	21,68	1,65	89,38	2,50

Quadro 9 – Capacidade de vazão da secção C

Altura	Secção	Perímetro	Raio Hidr.	Caudal	Veloc.
[m]	[m2]	[m]	[m]	[m3/s]	[m/s]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	3,72	11,27	0,33	3,19	0,86
3,50	10,00	15,84	0,63	13,22	1,32
4,00	16,85	17,34	0,97	29,69	1,76
4,50	23,70	18,84	1,26	49,60	2,09
5,00	30,55	19,34	1,58	74,42	2,44
5,50	37,40	19,84	1,89	102,51	2,74

Quadro 10 – Capacidade de vazão da secção total

Altura [m]	Secção [m ²]	Caudal [m ³ /s]
0,00	0,00	0,00
0,50	6,30	6,77
1,00	12,60	20,51
1,50	18,90	38,57
2,00	25,20	59,78
2,50	31,50	83,39
3,00	43,05	115,55
3,50	62,39	167,28
4,00	82,39	234,98
4,50	102,39	313,04
5,00	122,39	401,66
5,50	142,39	498,41

Analisando o Quadro 10, e tendo em conta os valores de caudal para os períodos de retorno considerados ($T = 25$ anos, $T = 50$ anos e $T = 100$ anos), verifica-se que o escoamento ocorrerá para alturas localizadas no intervalo 4,00 a 5,00 m, referentes ao talvegue.

Por interpolação linear, obtém-se os valores aproximados referentes à altura do escoamento para os períodos de retorno em análise (Quadro 11).

Quadro 11 – Características do escoamento na secção em estudo

T (anos)	Q (m ³ /s)	h (m)	V (m/s)
25	262,08	4,174	2,92
50	323,48	4,559	3,08
100	391,41	4,942	3,26

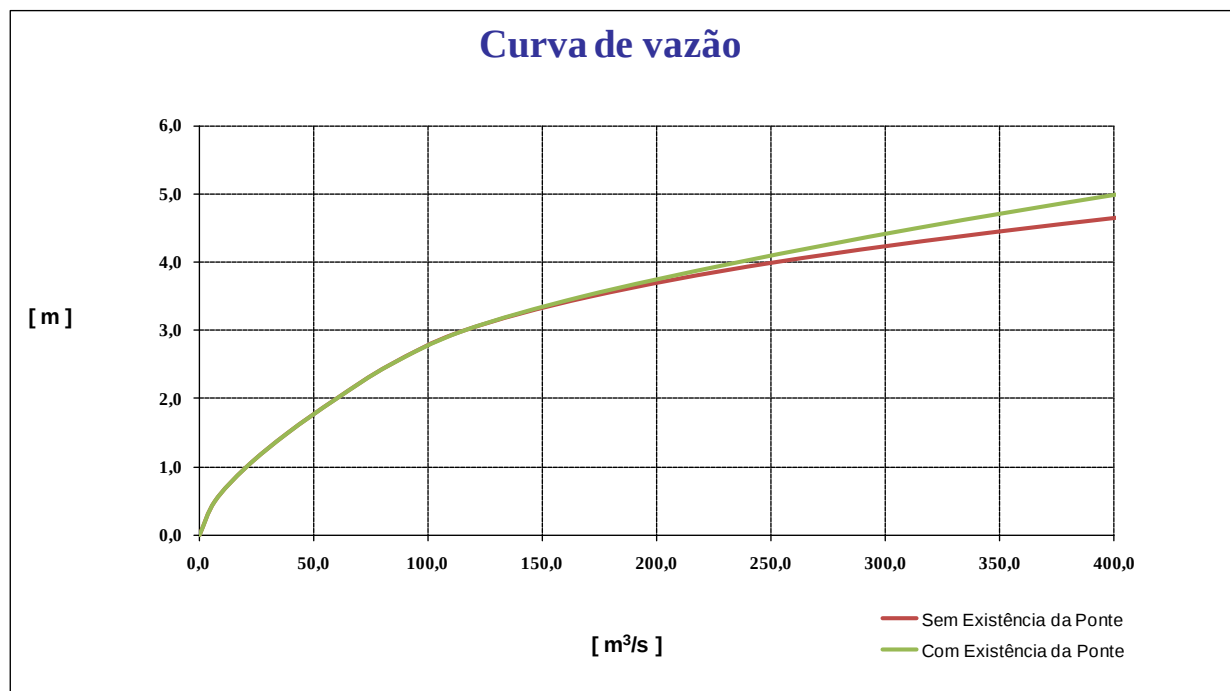


Figura 6 – Curva de vazão

Nas figuras seguintes estão representadas as secções transversais do rio no eixo da ponte, para a solução estrutural apresentada, para os diferentes períodos de retorno estudados.

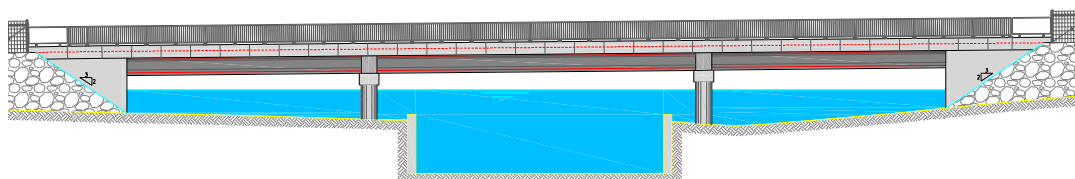


Figura 7 – Secção de vazão para o período de retorno de 25 anos

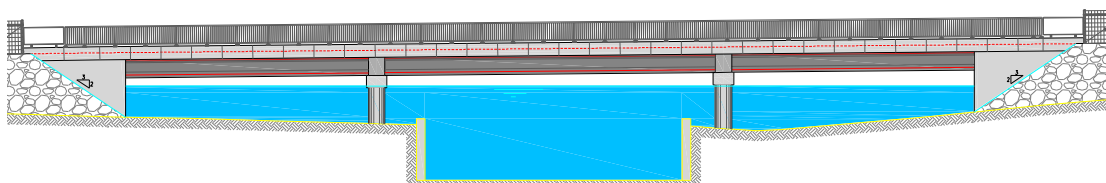


Figura 8 – Secção de vazão para o período de retorno de 50 anos

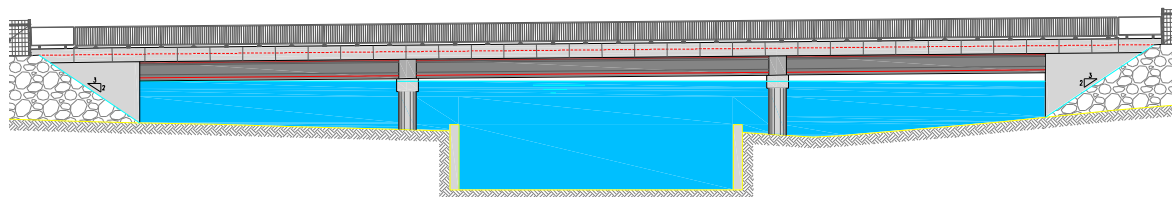


Figura 9 – Secção de vazão para o período de retorno de 100 anos

3.3. INTERACÇÃO DO ESCOAMENTO COM OS PILARES DA OBRA

Como se pode verificar pelas figuras 7, 8 e 9, o nível máximo previsto da superfície livre do escoamento atinge os pilares da estrutura. Para o período de retorno de cem anos, a altura máxima de contacto com os pilares adjacentes (situação mais gravosa) é de aproximadamente 2,47m, no alinhamento P2. De forma a ter em conta este efeito, serão efectuados os cálculos para a obtenção da acção hidrodinâmica.

A expressão de cálculo da acção hidrodinâmica, p , é igual a:

$$p = \frac{1}{2} * c * \rho * v^2 = \frac{1}{2} * c * \frac{\gamma}{g} * v^2 \left[kN / m^2 \right]$$

O coeficiente c depende da forma da secção transversal do pilar. Para pilares circulares este factor resulta igual a 0,70.

O peso volúmico da água será considerado igual a 12 kN/m^3 , de modo a considerar a influência de algum caudal sólido presente no rio em análise.

Assim:

$$p = \frac{1}{2} \times 0,70 \times \frac{12}{9,81} \times 3,26^2 = 4,55 \text{ kN} / m^2 \rightarrow F_{Hidrod.} = 4,55 \times 2,47 \times 0,80 = 9,00 \text{ kN}$$

3.4. ESTUDO HIDRÁULICO EFETUADO PARA A SITUAÇÃO SEM A RESTRIÇÃO DA OBRA DE ARTE:

Para efeitos de avaliação do escoamento na ausência da obra, a secção transversal foi dividida em 5 zonas. Central (S1), por onde normalmente se processa o escoamento, e laterais, nas margens direita e esquerda. As laterais próximas (S2 e S4) estendem-se até à linha imaginária da face do encontro.

Os quadros seguintes resumem as características hidráulicas de cada uma das 5 secções consideradas na análise, em função da altura de escoamento:

S1 - SECÇÃO A - Canal						S2 - SECÇÃO B - Margem Direita Prox					
Altura [m]	Secção [m ²]	Perímetro [m]	Raio Hídr. [m]	Caudal [m ³ /s]	Veloc. [m/s]	Altura [m]	Secção [m ²]	Perímetro [m]	Raio Hídr. [m]	Caudal [m ³ /s]	Veloc. [m/s]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	6.30	13.60	0.46	6.77	1.08	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	12.60	14.60	0.86	20.51	1.63	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	18.90	15.60	1.21	38.57	2.04	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	25.20	16.60	1.52	59.78	2.37	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	31.50	17.60	1.79	83.39	2.65	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	37.80	17.93	2.11	111.62	2.95	3.00	1.54	11.12	0.14	0.74	0.48
3.50	44.10	17.93	2.46	144.32	3.27	3.50	8.29	15.68	0.53	9.74	1.17
4.00	50.40	17.93	2.81	180.29	3.58	4.00	15.14	16.68	0.91	25.50	1.68
4.50	56.70	17.93	3.16	219.39	3.87	4.50	21.99	17.68	1.24	45.69	2.08
5.00	63.00	17.93	3.51	261.51	4.15	5.00	28.84	18.68	1.54	69.20	2.40
5.50	69.30	17.93	3.87	306.53	4.42	5.50	35.69	19.68	1.81	95.33	2.67

S3 - SECÇÃO B - Margem Direita Afast.					
Altura [m]	Secção [m ²]	Perímetro [m]	Raio Hídr. [m]	Caudal [m ³ /s]	Veloc. [m/s]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	4.08	14.56	0.28	1.88	0.46
4.00	16.44	28.38	0.58	12.25	0.75
4.50	34.94	37.52	0.93	35.90	1.03
5.00	57.75	48.23	1.20	70.16	1.21
5.50	85.17	52.39	1.62	126.55	1.49

S4 - SECÇÃO C - Margem Esquerda Prox.						S5 - SECÇÃO C - Margem Esquerda Afast.					
Altura [m]	Secção [m ²]	Perímetro [m]	Raio Hídr. [m]	Caudal [m ³ /s]	Veloc. [m/s]	Altura [m]	Secção [m ²]	Perímetro [m]	Raio Hídr. [m]	Caudal [m ³ /s]	Veloc. [m/s]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.00	3.72	11.27	0.33	3.19	0.86	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	10.00	15.84	0.63	13.22	1.32	3.50	0.90	0.34	2.65	1.86	2.06
4.00	16.85	16.84	1.00	30.28	1.80	4.00	3.50	5.23	0.67	2.88	0.82
4.50	23.70	17.84	1.33	51.44	2.17	4.50	9.36	11.30	0.83	8.90	0.95
5.00	30.55	17.84	1.71	78.54	2.57	5.00	18.52	17.25	1.07	20.92	1.13
5.50	37.40	17.84	2.10	110.03	2.94	6.00	29.91	21.05	1.42	40.73	1.36

O quadro seguinte apresenta a capacidade de vazão da secção total:

Quadro Resumo					
Altura	Secção	Perímetro	Raio Hidr.	Caudal	Veloc. Máx
[m]	[m ²]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[m/s]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	6,30	13,60	0,46	6,77	1,08
1,00	12,60	14,60	0,86	20,51	1,63
1,50	18,90	15,60	1,21	38,57	2,04
2,00	25,20	16,60	1,52	59,78	2,37
2,50	31,50	17,60	1,79	83,39	2,65
3,00	43,05	40,31	2,25	115,55	2,95
3,50	67,38	64,34	5,64	171,02	3,27
4,00	102,33	85,25	4,39	251,20	3,58
4,50	146,70	102,26	5,24	361,32	3,87
5,00	198,66	119,92	6,13	500,33	4,15
5,50	257,47	129,09	10,82	679,17	4,42
Inclinação					
	0,00129 m/m				

Fazendo a interpolação dos valores, obtém-se as seguintes alturas de escoamento para os caudais de 50 e 100 anos de período de retorno:

INTERPOLAÇÃO DE VALORES					
Tr	Caudal	Area	R Hidr	Veloc. Máx.	altura
	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m]
50,00	323,48	156,30	5,00	3,79	4,36
100,00	391,41	157,94	5,43	3,93	4,61

Conforme se pode constatar do quadro anterior, para uma situações sem obstrução (isto é, sem a construção da ponte e acessos) as alturas de escoamento são estimadas em 4,36m e 4,61m, respetivamente para T=50anos e T=100 anos.

Comparando estes valores com os obtidos no Quadro 11, conclui-se que a elevação da superfície livre imediatamente a montante da ponte, devida à obstrução parcial da secção de vazão, é de 0,23m e 0,33m, respetivamente para T=50anos e T=100 anos.

Para a montante, a elevação dilui-se progressivamente, atendendo à configuração típica das curvas de regolfo de elevação que ocorrem para estas situações.

Estes valores de elevação da altura de escoamento devem ser considerados como limites superiores, uma vez que se alheiam do constrangimento existente a jusante, materializado pela existência da ponte em alvenaria que se irá manter após a construção da nova estrutura.

Desta forma, a ponte existente apresenta, atualmente, um estrangulamento da secção do curso de água que atenuará a elevação do escoamento acima indicada, potenciada pela construção da nova infraestrutura.

3.5. CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados nos pontos anteriores conclui-se que a força hidrodinâmica induzida nos pilares para o período de retorno mais desfavorável, apresenta valores que não são desprezáveis, comparativamente com as solicitações utilizadas no cálculo corrente da estrutura, e que devem por isso ser tidos em conta nos modelos de cálculo dos pilares.

Deverá ser prevista a protecção das saias de aterro, junto aos encontros, com enrocamento argamassado, com o objetivo de prevenir os fenómenos de erosão e de infraescavação.

A obra de arte proposta desenvolve-se numa zona bastante plana. O leito menor encontra-se efetivamente canalizado e comporta o caudal correspondente a períodos de retorno de 2 a 5 anos. Para períodos de retorno maiores, verifica-se que o essencial do escoamento se processa na zona central do vale, correspondente ao vão central da ponte agora projetada. Mesmo para um período de retorno de 100 anos, apenas um terço do escoamento terá lugar nos vãos laterais da ponte. Em consequência, o eventual aumento da extensão da ponte, por exemplo por colocação de vãos adicionais, teria uma influência muito reduzida no escoamento.

Supondo que a secção de vazão é constante no trecho que engloba a ponte, ou seja, que não há constrangimentos que perturbem o escoamento, a existência da ponte, conforme projetada, originaria uma elevação da superfície livre em 0,20m para $T=50$ anos e 0,33m para $T=100$ anos. Nessas condições, a altura da lâmina de água passaria de 4,36m e 4,61m para 4,56m e 4,94m, respetivamente, com a construção da ponte. No entanto, estes valores de elevação são extremamente conservativos por duas razões:

- É sabido que, em vales relativamente abertos, as franjas laterais da secção em situação de cheia têm constrangimentos que afetam largamente a sua capacidade de vazão. Funcionam como zonas inundadas, sem contribuição significativa na capacidade de vazão. O comportamento destas franjas em período de cheia será mais como reservatório temporário, com alguma função de regularização dos caudais para jusante. Este comportamento é, aliás, frequentemente desejado e promovido para reduzir a gravidade de episódios de cheia;
- A existência de um obstáculo a jusante da secção em estudo, materializada por uma ponte em alvenaria, com três vãos em arco de volta inteira, faz com que a nova estrutura não constitua um



obstáculo adicional. De facto, a base das vigas do tabuleiro está acima da cota da via, de ambos os lados da ponte existente.

Em conclusão, a ponte agora projetada não tem influência significativa em situação de cheia.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] – RAMOS, C. M. – *Dimensionamento de Pontes – Aspectos Hidráulicos*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal, 1990.
- [2] – LENCASTRE, A. ; FRANCO, F. M. – *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, Portugal, 1984.
- [3] – NOVAIS-BARBOSA, J. – *Mecânica dos Fluídos e Hidráulica Geral – Vol. 1 e 2*. Porto Editora. Porto, Portugal, 1986.
- [4] - *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Editora Rei dos Livros. Lisboa, Portugal, 1998.