

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A CASOS DE ESTUDO

5.1 – CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Neste capítulo pretende-se comparar o dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores para águas pluviais em projectos efectuados para a BRISA e para a JAE, com os resultados obtidos por aplicação da metodologia de dimensionamento considerada no programa HIDROPAS. Para tal, seleccionaram-se casos de estudo correspondentes a diferentes regiões do país e a diversos projectistas.

Os casos de estudo considerados são:

- Auto Estrada do Norte (A1). Sublanço Pombal-Condeixa (**Brisa, 1988**);
- Auto Estrada Marateca/Elvas (A6). Sublanço Montemor o Novo - Évora (**Brisa, 1995**);
- Auto Estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz - Borba (**Brisa, 1996**);
- CREL Estádio Nacional / Alverca (A9). Sublanço Loures - Bucelas (**Brisa, 1993**);
- A12 Auto Estrada Setúbal / Montijo (**Brisa, 1996a**);
- Ligação IP3-IP5. Variante a Viseu (**JAE, 1996**).

Para a realização do estudo comparativo, consideram-se os dimensionamentos hidrológico e hidráulico separadamente. Para cada caso de estudo, elaboraram-se quadros com as principais características dos projectos correspondentes a cada tipo de dimensionamento, de modo a compará-los com os quadros de resultados obtidos pelo programa HIDROPAS.

Apesar deste programa efectuar também estimativas de custos, nesta análise comparativa não serão incluídos os custos por não se dispor da correspondente informação na maioria dos casos de estudo considerados.

5.2 – DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO. CONDIÇÕES DE PROJECTO

5.2.1 – Considerações gerais

O dimensionamento hidrológico de passagens hidráulicas pressupõe a disponibilidade de um conjunto de dados ou elementos de base indispensáveis para a concepção de estudos de drenagem, nomeadamente para o cálculo dos caudais de ponta de cheia. No Quadro 5.1 apresentam-se os principais elementos ou dados utilizados nos diferentes casos de estudo considerados.

Quadro 5.1 – Dimensionamento hidrológico. Elementos de base utilizados nos diferentes casos de estudo.

Nome do projecto	T (anos)	C	Fórmula para cálculo de t_c	Precipitação	Fórmula para cálculo de Q_p
Auto-estrada do Norte (A1). Sublanço Pombal-Condeixa	10 e 20	0,5 a 0,6	Ventura	Função do tipo $I=a/(b+t_c)$ $I(10) = 2840/(27+t_c)$ $I(20) = 3310/(28+t_c)$	racional
Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Montemor o Novo-Évora	50	0,60	Pickering	- Bacias de Montemor o Novo: função do tipo $I=a/(b+t_c)$ $I(50) = 4668/(20+t_c)$ - Bacias de Évora: Curvas IDF $I = a t_c^b$ $a= 349,54; b = -0,524$	racional
Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz-Borba	50	-	Pickering	Curvas IDF de Lisboa $I = a t_c^b$ $a= 349,54; b = -0,524$	Mockus
CREL Estádio Nacional / Alverca. Sublanço Loures-Bucelas	10, 20, 50 e 100	0,50 ($t_r=10$) 0,55 ($t_r=20$) 0,55 ($t_r=50$) 0,60 ($t_r=100$)	Temez	Curvas IDF de Lisboa $I = a t_c^b$ $a= 290,7; b = -0,549 (T_r=10)$ $a= 317,7; b = -0,538 (T_r=20)$ $a= 349,54; b = -0,524 (T_r=50)$ $a= 365,62; b = -0,508 (T_r=100)$	racional
Auto-estrada Setúbal / Montijo (A12)	50	0,35	Pickering	Curvas IDF de Lisboa $I = a t_c^b$ $a= 349,54; b = -0,524$	racional
Ligação IP3-IP5. Variante a Viseu	10, 25, 50 e 100	0,45	Ventura	Curvas Intensidade / duração de precipitação para períodos de retorno considerados, obtidas a partir do dados do INMG relativos à estação climatológica de Viseu.	racional

Nas alíneas seguintes abordam-se, de forma detalhada, os principais aspectos relativos aos elementos de base referenciados no quadro anterior.

5.2.2 – Auto-estrada do Norte (A1). Sublanço Pombal - Condeixa

A determinação dos caudais de dimensionamento foi feita em função das precipitações registadas e das características físicas das áreas drenadas. Para tal, o projectista utilizou os registos de precipitações máximas nas zonas de Pombal e Condeixa (Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial, LNEC 1986), para chuvadas com duração de 15, 30 e 60 min para períodos de retorno de 10, 20 e 50 anos, de acordo com os valores do Quadro 5.2.

Para determinar as intensidades médias de precipitação o projectista utilizou uma função do tipo (2.20) com $m=1$, $n=0$ e considerando $t_p = t_c$, de que resulta

$$I = \frac{a}{b + t_c} \quad (5.1)$$

com I expresso em mm/h e t_c em min.

Para o ajuste dos parâmetros a e b foi utilizado o método dos mínimos quadrados, obtendo-se as seguintes expressões:

$$I(10 \text{ anos}) = 2840/(27+t_c)$$

$$I(20 \text{ anos}) = 3310/(28+t_c)$$

$$I(50 \text{ anos}) = 3940/(30+t_c)$$

Quadro 5.2 – Auto-Estrada do Norte, sublanço Pombal – Condeixa. Precipitações máximas e intensidades máximas utilizadas.

Período de retorno, T (anos)	Precipitações máximas (mm)			Intensidades máximas (mm/h)		
	15 (min)	30 (min)	60 (min)	15 (min)	30 (min)	60 (min)
10	17	24	31	68	47	31
20	19	27	36	77	53	36
50	22	31	42	89	61	42

No dimensionamento hidrológico, apresentado no Quadro F1 do Anexo F, a duração das chuvadas foi considerada igual ao tempo de concentração. O tempo de concentração foi calculado no projecto pela fórmula de Ventura (Eq. 2.9).

Na avaliação dos caudais de ponta de cheia foi utilizada a fórmula racional (Eq. 2.29) com valores do coeficiente de escoamento de 0,50 a 0,60.

5.2.3 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Montemor-o-Novo - Évora

A avaliação dos caudais de ponta de cheia foi feita em função das precipitações registadas e das características físicas das bacias envolvidas. No projecto é referido que se compararam os valores máximos anuais das precipitações nas regiões, obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) para períodos de retorno de 50 anos, com os dados das curvas IDF para a região de Évora. De acordo com os valores obtidos, o projectista optou por considerar os valores das curvas IDF de **Matos e Silva (1986)** para as bacias do concelho de Évora e os valores do INMG para as bacias da região de Montemor-o-Novo.

Para a determinação das intensidades médias de precipitação, adoptou-se uma expressão do tipo (5.1) à série de precipitações máximas em 24 horas do posto udométrico de Montemor-o-Novo. Para um período de retorno de 50 anos obteve-se $I = 4668/(20+t_c)$. Relativamente às curvas IDF, foram utilizados os parâmetros a e b da região de Lisboa para uma cheia cinquentenária.

Para determinar o tempo de concentração das diversas bacias foi considerada a fórmula de Pickering (Eq. 2.7).

Na determinação dos caudais de ponta de cheia foi utilizada a fórmula racional, considerando um coeficiente de escoamento de 0,6, escolhido, segundo o projectista, em

função do tipo de cobertura vegetal e das características topográficas e pedológicas das bacias hidrográficas. No Quadro F2 do Anexo F apresenta-se, resumidamente, o dimensionamento hidrológico das várias bacias hidrográficas constantes do projecto em estudo.

5.2.4 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz - Borba

Para efeito de cálculo dos caudais de ponta de cheia, o projectista tomou, como termo de comparação para obter o tempo de concentração, a fórmula de Temez (Eq. 2.5) e a fórmula de Pickering (Eq. 2.7). Tendo verificado que a fórmula de Temez originava tempos de concentração superiores, considerou, por uma questão de segurança, a fórmula de Pickering para calcular o tempo de concentração.

Na avaliação das intensidades de precipitação, foram consideradas as curvas IDF da região de Lisboa (Matos e Silva, 1986) para períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos. No Quadro 5.3 são apresentadas as intensidades de precipitação para diferentes durações.

Quadro 5.3 – Intensidades de precipitação (mm/h). Auto-estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estremoz-Borba.

Duração (min)	Períodos de retorno, T (anos)		
	10	50	100
5	120,14	150,40	161,42
10	82,11	104,59	113,51
15	65,73	84,57	92,38
30	44,92	58,81	64,96
60	30,71	40,90	45,68

Na escolha dos períodos de retorno a adoptar no dimensionamento das diferentes passagens hidráulicas, o projectista teve em atenção as consequências que poderiam advir de uma deficiente capacidade de escoamento. Deste modo, considerou cheias cinquentenárias em todas as passagens hidráulicas.

Para calcular os caudais de ponta de cheia, apresentados no Quadro F3 e F4 do Anexo F, foi utilizada a fórmula de Mockus, tendo sido consideradas chuvadas com durações iguais a duas vezes o tempo de concentração. O projectista não é explícito quanto às razões porque considerou chuvadas com durações iguais a duas vezes o tempo de concentração.

5.2.5 – CREL Estádio Nacional / Alverca. Sublanço Loures - Bucelas

Após análise dos métodos disponíveis para calcular os caudais de ponta de cheia em bacias com as características e dimensões das interceptadas por este trecho da CREL, o projectista optou pela aplicação do método racional à totalidade das bacias em estudo.

O coeficiente de escoamento foi escolhido de acordo com as características e período de retorno das diferentes bacias. O valor mínimo utilizado foi de 0,50 e o valor máximo de 0,60.

O período de retorno adoptado foi de 10 anos para as bacias mais pequenas, com áreas inferiores a 0,3 km², de 20 anos para bacias com áreas entre 0,3 e 3,0 km², e de 50 anos para áreas superiores.

Para calcular o tempo de concentração das bacias hidrográficas foi utilizada a fórmula de Temez. Os valores da intensidade de precipitação são calculados com base nas curvas IDF da região de Lisboa (**Matos e Silva, 1986**) para os períodos de retorno de 10, 20 e 50 anos.

No Quadro F5 do Anexo F apresentam-se os resultados das diferentes variáveis correspondentes ao dimensionamento hidrológico deste caso de estudo.

5.2.6 – Auto-estrada Setúbal / Montijo (A12)

Para caracterização do regime das chuvadas na região onde se desenvolve o traçado da auto-estrada Setúbal / Montijo o projectista recorreu às curvas IDF de **Matos e Silva, (1986)**.

Na escolha dos períodos de retorno atendeu-se à importância das linhas de água a atravessar e às consequências que poderiam resultar de deficiente capacidade de vazão dessas obras. Assim, o projectista entendeu considerar períodos de retorno de 50 anos para as bacias hidrográficas com áreas inferiores a 5000 ha e de 100 anos para as restantes. De referir que neste caso de estudo todas as bacias interceptadas pela via têm área inferior a 5000 ha.

Os caudais de ponta de cheia, apresentados no Quadro F6 do Anexo F, foram calculados pela fórmula racional. Atendendo ao facto da generalidade das bacias apresentar uma orografia relativamente plana e os solos serem permeáveis, o projectista refere que utilizou a fórmula racional em detrimento da fórmula de Mockus por entender *não haver razões para admitir a aplicação generalizada dessa fórmula que iria conduzir a uma sobreavaliação dos caudais de ponta de cheia.*

Foi utilizado um valor constante de 0,35 para o coeficiente de escoamento.

5.2.7 – Ligação IP3 - IP5. Variante a Viseu

A determinação dos caudais de ponta de cheias foi efectuada em função das chuvadas características da região. Os valores das precipitações para a região, indicados no Quadro 5.4, foram calculados a partir das séries de precipitações máximas anuais com duração de 24 horas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, relativamente à estação climatológica de Viseu.

Com base naquelas precipitações determinaram-se as intensidades de precipitação, cujos valores também se apresentam no Quadro 5.4, referentes a chuvadas com durações de 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min, para períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.

O coeficiente de escoamento foi escolhido de acordo com as características das diferentes bacias, tendo sido adoptados valores compreendidos entre 0,45 para bacias rurais e 0,70 para bacias urbanizadas.

Quadro 5.4 – Precipitações e intensidades de precipitação em função do período de retorno. Estação climatológica de Viseu.

Período de retorno, T (anos)	Precipitações (mm)							Intensidades de precipitação, I (mm/h)						
	Duração (min)							Duração (min)						
	5	10	20	30	40	50	60	5	10	20	30	40	50	60
10	8,4	12,3	18,5	22,4	26,6	26,6	28,0	100,8	73,9	55,5	44,8	40,0	31,9	28,0
25	10,2	14,9	22,4	27,2	29,9	32,3	34,0	122,4	89,8	67,3	54,4	44,9	38,8	34,0
50	11,4	16,7	25,1	30,4	33,4	36,1	38,0	136,8	100,3	75,2	60,8	50,2	43,3	38,0
100	13,1	19,1	28,7	34,8	38,3	41,3	43,5	156,6	114,8	86,1	69,6	57,4	49,6	43,5

Com base nas intensidades máximas de precipitação, o projectista determinou as curvas IDF características da zona, para os períodos de retorno considerados, a fim de determinar as intensidades de precipitação das diferentes bacias hidrográficas interceptadas pela via. Na Figura 5.1 são apresentadas as referidas curvas.

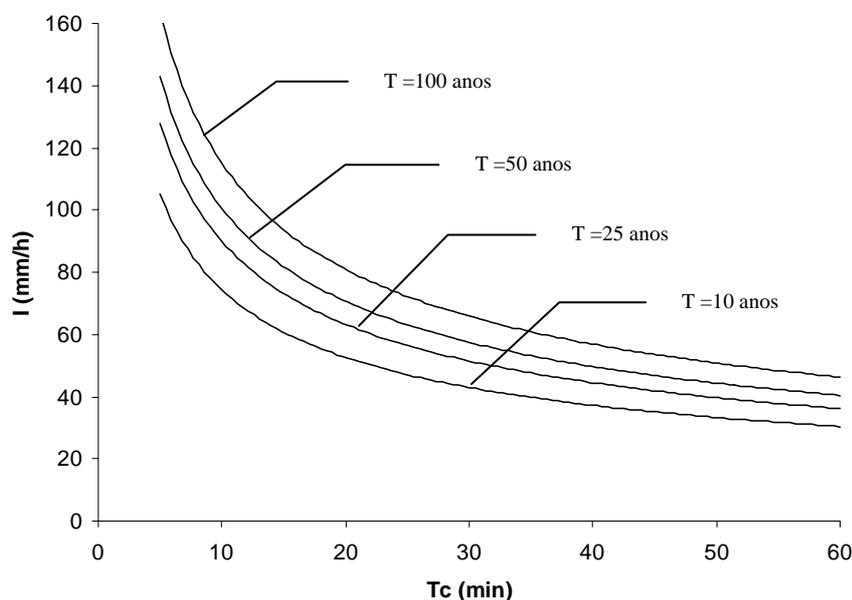


Figura 5.1 – Curvas IDF da estação climatológica de Viseu.

Os caudais de ponta de cheia, apresentados no Quadro F7 do Anexo F, foram calculados pela fórmula racional considerando um coeficiente de escoamento de 0,45. As intensidades

de precipitação foram retiradas da Figura 5.1, considerando chuvadas com durações iguais ao tempo de concentração das respectivas bacias hidrográficas. O tempo de concentração foi calculado recorrendo à fórmula de Ventura (Eq. 2.9).

5.3 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO. CONDIÇÕES DE PROJECTO

Em todos os casos de estudo analisados, os projectistas referem que foi feito o reconhecimento dos locais das diferentes travessias, com o objectivo de avaliar se as condições de escoamento a jusante dos futuros aquedutos poderiam determinar o tipo de funcionamento e, ainda, se a altura máxima de água a montante poderia implicar prejuízos nas propriedades circundantes. A análise dos pontos baixos do perfil longitudinal também foi feita, para verificar se a altura máxima de água a montante do aqueduto viria ou não a interferir com a drenagem da plataforma da via.

Nos projectos analisados, a metodologia utilizada para dimensionamento hidráulico do aqueduto é a preconizada pelos Serviços Técnicos da BRISA (**Brisa, 1974**) e proposta pela AASHTO (**AASHTO, 1991**) e SETRA (**ENPC, 1995**). Desta forma, o dimensionamento e verificação do funcionamento hidráulico tem por base os ábacos publicados pelo U. S. Bureau of Public Roads (**Herr e Bossey, 1965** e **FHA, 1972**), apresentados no Anexo B.

Verifica-se que, em todos os projectos analisados, a secção de controlo é a secção de montante dos aquedutos. Em todos os casos, recorreu-se à fórmula de Manning-Strickler, admitindo um coeficiente K igual a $75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, dado que apenas são adoptados aquedutos de betão.

O diâmetro mínimo a considerar nos projectos para a BRISA é de 1,00 m, e de 0,80 nos projectos para a JAE. O diâmetro máximo considerado é de 1,50 m. Quando são exigidos diâmetros superiores a 1,50 m utilizam-se aquedutos de secção rectangular ou aquedutos circulares em paralelo.

No dimensionamento hidráulico foram considerados os elementos de base apresentados no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 – Dimensionamento hidráulico. Elementos de base utilizados nos diferentes casos de estudo.

Nome do projecto	Diâmetros, D (m)	Secções rectangulares (m × m)	Metodologia de dimensionamento	Valor máximo de H_w/D	Velocidade máxima à saída (m/s)	Quadros de resultados (Anexo F)
Auto-estrada do Norte (A1). Sublanço Pombal-Condeixa	0,80* 1,00 1,20 1,50	2,50 × 2,50 3,50 × 3,50	USBPR	1,35	4,5	F8
Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Montemor o Novo-Évora	0,80* 1,00 1,20 1,50	2,00 × 2,00 2,50 × 2,50 3,50 × 3,50 4,00 × 4,00	USBPR	1,35	4,5	F9
Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz-Borba	0,80* 1,00 1,20 1,50	1,50 × 1,50 2,00 × 2,00 2,00 × 1,30 2,00 × 1,50 3,50 × 1,50 3,50 × 3,00 4,00 × 3,00	USBPR	1,35	4,5	F3
CREL Estádio Nacional / Alverca. Sublanço Loures-Bucelas	1,00 1,20 1,50	2,00 × 2,00	USBPR	Não refere	5,0	F12
Auto-estrada Setúbal / Montijo (A12)	0,80* 1,00 1,20 1,50	1,80 × 1,80 2,00 × 1,50 2,00 × 2,00 2,50 × 2,50	USBPR	1,10	4,5	F10
Ligação IP3-IP5. Variante a Viseu	0,80 1,00 1,20 1,50	2,00 × 2,00 3,00 × 3,00	USBPR	Não refere ($H_w < cota$ do pavimento)	4,5	F11

*Diâmetro utilizado em restabelecimentos.

5.4 – APLICAÇÃO DO PROGRAMA HIDROPAS

5.4.1 – Considerações gerais

Para aplicação do programa HIDROPAS aos casos de estudo utilizou-se a informação de base existente nos diferentes projectos analisados.

O dimensionamento hidrológico e hidráulico a efectuar pelo programa de cálculo automático tem por base as seguintes considerações:

- uma vez que, na generalidade dos projectos, não existem dados relativos aos tipos de solos e sua utilização ou cobertura, considera-se como número de escoamento o maior dos valores referentes a zonas rurais ($CN = 91$);
- considera-se um valor mínimo de 5 min para o de tempo de concentração das bacias hidrográficas;
- no cálculo das intensidades médias de precipitação são utilizadas as curvas IDF (**Matos e Silva, 1986**) correspondentes às regiões pluviométricas das bacias hidrográficas interceptadas nos diferentes casos de estudo considerados;
- os caudais de ponta de cheia são calculados para os períodos de retorno:
 - considerados pelos projectistas;
 - de 50 anos, no caso de bacias hidrográficas com áreas inferiores a 50 km^2 ;
 - de 100 anos para as bacias com áreas iguais ou superiores a 50 km^2 ;
 - de 100 anos para todas as bacias dos projectos analisados, para atender à versão provisória do Manual de Drenagem da JAE (**JAE, 1998**); este critério inclui as bacias com área superior a 50 km^2 , como indicado na secção 2.5;
- o diâmetro mínimo a considerar é de 1,00 m e o máximo é de 1,50 m; quando são exigidos diâmetros superiores a 1,50 m utilizam-se aquedutos de secção rectangular, com altura e largura mínimas de acordo com o Quadro 3.5;
- a altura de água a montante não deve exceder o valor de $1,5D$;
- a velocidade máxima do escoamento admitida à saída dos aquedutos é de 4,5 m/s, uma vez que na maioria dos casos para valores superiores será necessário recorrer a bacias de dissipação de energia;
- os restantes dados são os considerados no respectivo projecto e indicados no Anexo F;

No Anexo G apresentam-se as saídas de resultados do programa HIDROPAS referentes aos dimensionamentos hidrológico e hidráulico de cada um dos projectos em análise.

5.4.2 – Auto-estrada do Norte (A1). Sublanço Pombal-Condeixa

Da análise dos Quadros F1, G1 e G2 dos Anexos F e G verifica-se que, nas bacias de pequenas dimensões, os caudais de ponta de cheia do projecto para um período de retorno de 10 anos são superiores aos calculados pelo programa HIDROPAS para um período de

retorno de 50 anos. Por outro lado, nas bacias de maiores dimensões, como por exemplo a bacia nº 11 com área de 10,437 km², os caudais de ponta de cheia são sub-dimensionados no projecto, quando comparados com caudais de ponta de cheia obtidos através do programa HIDROPAS.

A diferença de valores nos caudais de ponta de cheia das pequenas bacias deve-se fundamentalmente ao cálculo do tempo de concentração e da intensidade média de precipitação. Para os tipos de bacias consideradas, a fórmula de Ventura, utilizada pelo projectista para calcular o tempo de concentração, fornece valores excessivos quando comparada com as fórmulas de Kirpich (Pickering e David). Por outro lado, as funções utilizadas para calcular a intensidade média dão origem a valores bastante superiores quando comparadas com as curvas IDF de **Matos e Silva (1986)**, de origem mais recente. Na Figura 5.2 representam-se os caudais de ponta de cheia indicados no projecto e os calculados pelo programa HIDROPAS para iguais períodos de retorno e ainda para os períodos de retorno de 50 anos e 100 anos.

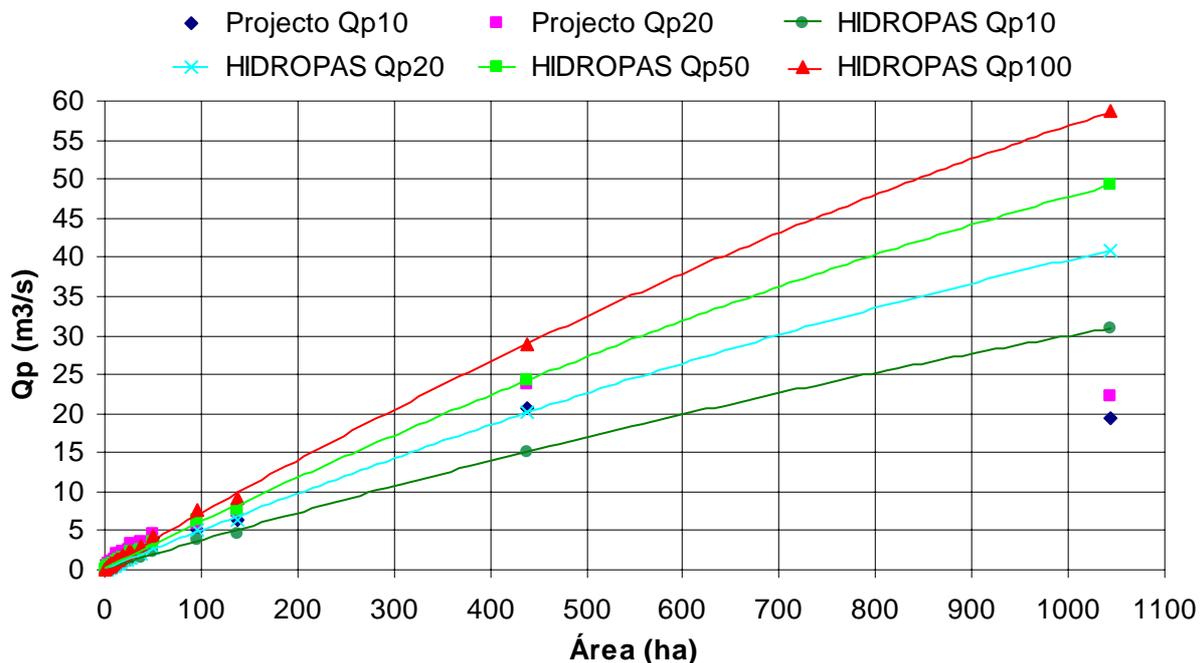


Figura 5.2 – Auto-estrada do Norte (A1). Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.

No que diz respeito ao dimensionamento hidráulico, utilizando o programa HIDROPAS para caudais de dimensionamento iguais aos utilizados no projecto, são obtidos valores

idênticos para as alturas da água e velocidades à saída dos aquedutos. Para os caudais de dimensionamento correspondentes ao período de retorno de 50 anos, são apresentados os resultados do dimensionamento hidráulico no Quadro G3 do Anexo G.

Como diferença mais saliente, verifica-se que para a PH nº 6-1 (bacia nº 11) o projectista propôs uma secção rectangular de 2,50 m × 2,50 m e, de acordo com o presente estudo, seria necessária uma secção rectangular de 3,50m × 3,00m. Um segundo aspecto a salientar é o de que o aumento do caudal de ponta de cheia nas pequenas bacias, não implica um agravamento significativo de custos, uma vez que o diâmetro mínimo utilizado na maioria dos aquedutos continua a ser suficiente.

5.4.3 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Montemor-o-Novo - Évora

De acordo com os Quadros F2, G4 e G5 dos Anexos F e G, verifica-se que os caudais de ponta de cheia obtidos através do programa de cálculo automático são significativamente inferiores aos considerados no projecto.

Os tempos de concentração das bacias hidrográficas calculados pelo programa são iguais aos indicados pelo projectista. No entanto, contrariamente ao considerado no projecto, para calcular as intensidades médias de precipitação, o programa HIDROPAS considera que o tempo de concentração mínimo é de 5 min, o que implica que, para pequenas bacias, as intensidades médias de precipitação sejam inferiores às consideradas no projecto.

De referir que as intensidades de precipitação calculadas para durações inferiores a 5 min, em alguns casos superiores a 200 mm/h (Quadro F2 – Anexo F), parecem ser valores bastante elevados. A justificar o possível sobre-dimensionamento, pode tomar-se como exemplo o caudal de ponta de cheia de 58,5 m³/s com período de retorno de 50 anos para uma bacia de 4,6 km².

No que diz respeito ao dimensionamento hidráulico, verifica-se uma acentuada diminuição das secções dos aquedutos como resultado dos menores caudais de ponta de cheia.

Em termos económicos, pode-se concluir que existe uma significativa diminuição de custos, pois para além da diminuição do diâmetro na generalidade dos aquedutos, verifica-se que vários dos aquedutos previstos com secção rectangular poderiam ser executados com secções circulares.

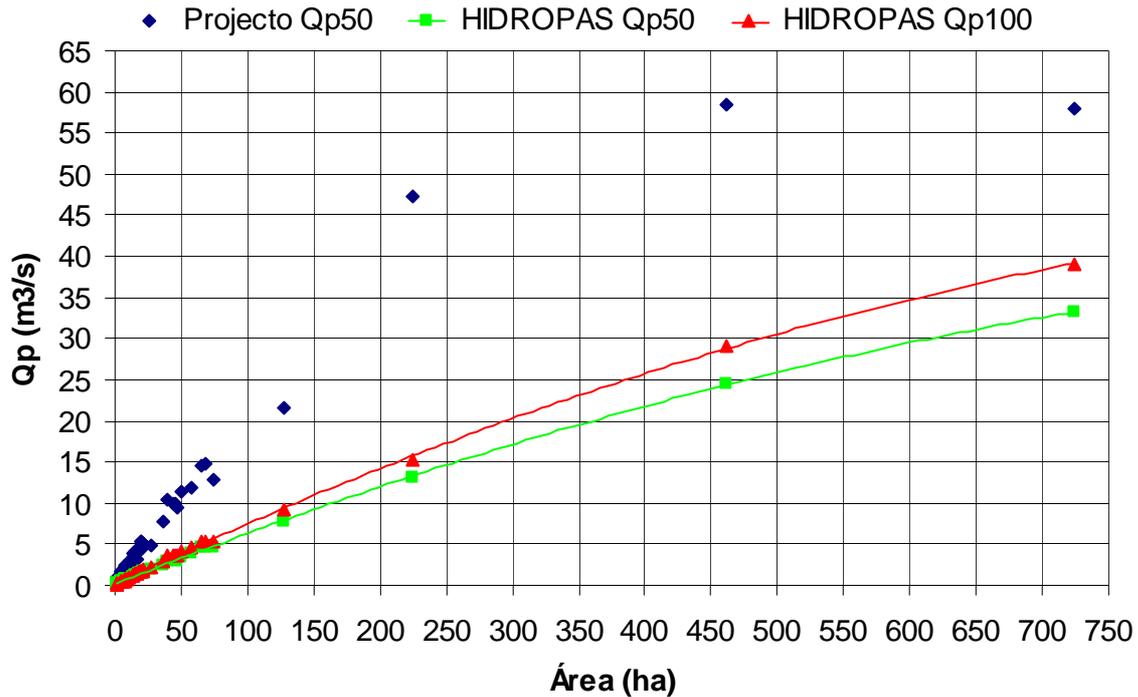


Figura 5.3 – Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Montemor o Novo - Elvas. Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.

5.4.4 – Auto-estrada Marateca / Elvas (A6). Sublanço Estremoz - Borba

Da análise dos Quadros F3, F4, G7 e G8 dos Anexos F e G verifica-se que, os caudais de ponta de cheia obtidos através do programa de cálculo automático são significativamente inferiores aos considerados no projecto.

A Figura 5.4 mostra que os caudais de ponta de cheia de projecto, para um período de retorno de 50 anos, são superiores aos caudais calculados pelo programa HIDROPAS para o período de retorno de 100 anos.

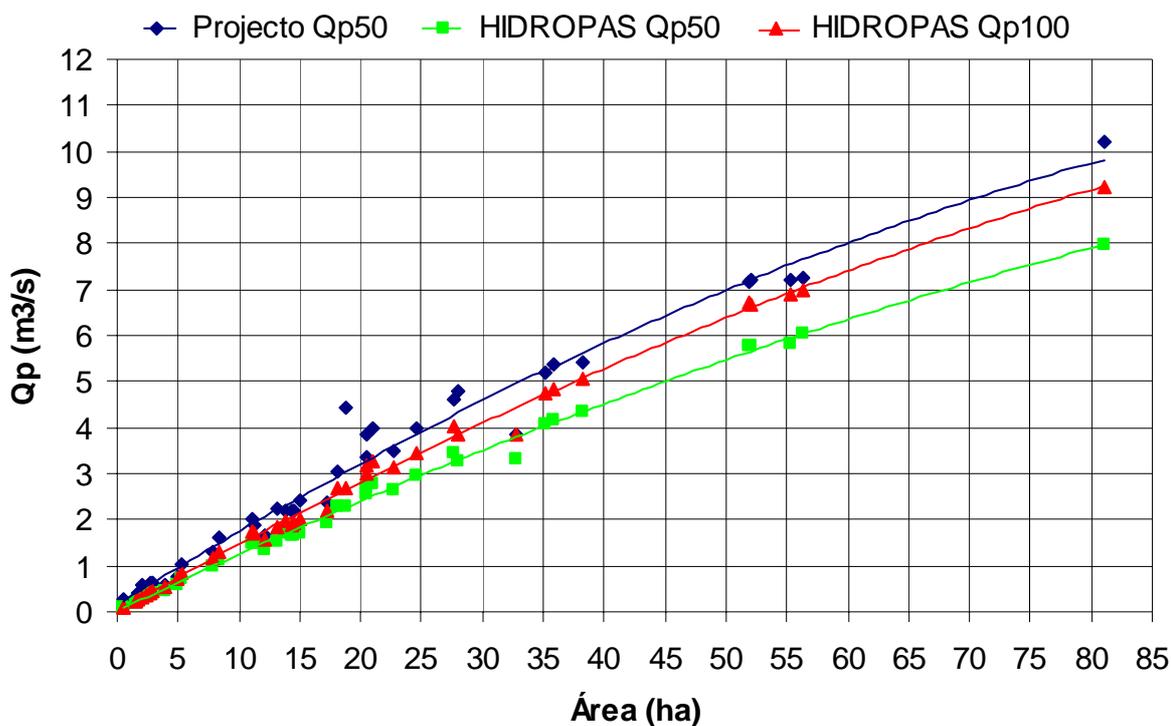


Figura 5.4 - Auto-Estrada Marateca / Elvas (A6), sublanço Estremoz – Borba. Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.

Uma vez que as bacias hidrográficas deste troço de auto-estrada são bastante pequenas, a diferença de valores verificada poderá ser justificada pelo facto das intensidades médias de precipitação terem sido calculadas para durações inferiores a 5 min.

Para os mesmos caudais de dimensionamento, o programa HIDROPAS calcula secções transversais dos aquedutos iguais às apresentadas no projecto. No entanto, utilizando os caudais de ponta de cheia obtidos no presente estudo, para um período de retorno de 50 anos, obtêm-se secções inferiores em apenas algumas passagens hidráulicas (Quadro G9 do Anexo G).

5.4.5 – CREL Estádio Nacional / Alverca. Sublanço Loures-Bucelas

Comparando os caudais de ponta de cheia de projecto (Quadro F5) e os que foram obtidos pelo programa HIDROPAS (Quadros G10 e G11), verifica-se que os caudais obtidos pelo projectista, para os mesmos períodos de retorno, são superiores aos obtidos no presente estudo.

Os tempos de concentração considerados no projecto, obtidos pela fórmula de Temez, são superiores aos utilizados no dimensionamento efectuado pelo programa de cálculo automático, implicando que as intensidades médias de precipitação sejam menores. No entanto, os caudais de ponta de cheia do projecto são superiores, pelo facto dos coeficientes de escoamento utilizados serem superiores aos considerados pelo programa HIDROPAS.

Da análise da Figura 5.5, verifica-se que as curvas correspondentes os caudais de ponta de cheia do projecto apresentam valores sempre superiores em relação aos que resultam da metodologia aplicada.

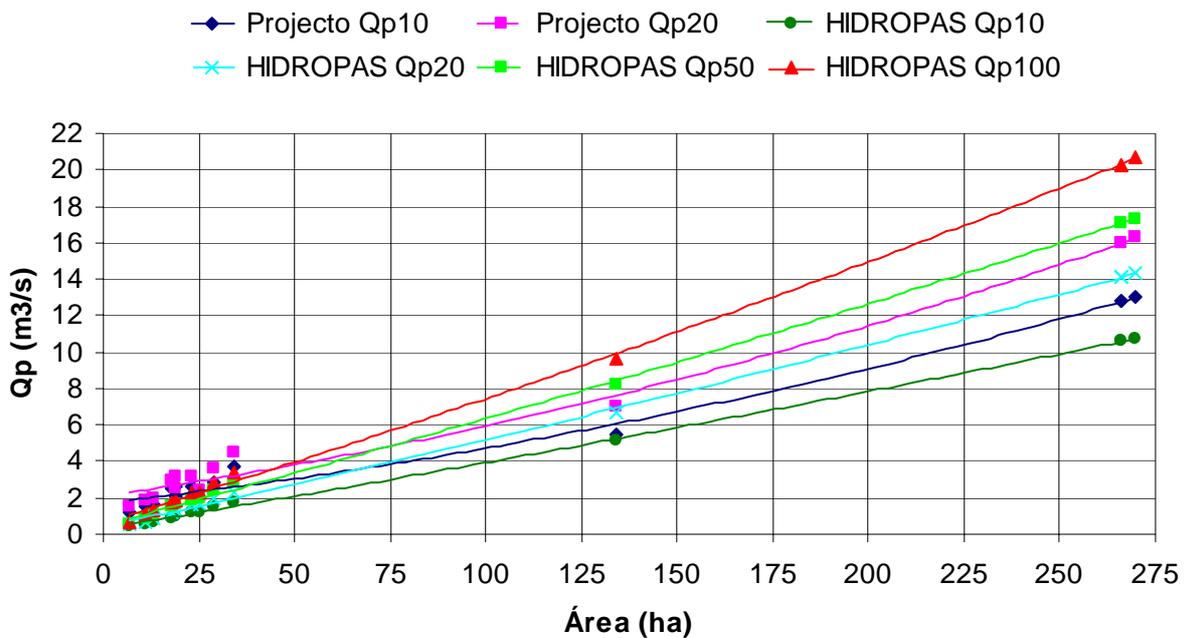


Figura 5.5 – Estádio Nacional / Alverca (A9), sublanço Loures - Bucelas. Caudais de ponta de cheia de projecto e os obtidos no presente estudo.

Com o objectivo de comparar o dimensionamento hidráulico efectuado pelo projectista e pelo programa HIDROPAS, consideraram-se como caudais de dimensionamento os que constam no projecto. Confrontando os Quadros F12 e G12 dos Anexos F e G verifica-se que a altura de água a montante, H_w , e a velocidade à saída das diferentes passagens hidráulicas são ligeiramente inferiores quando aplicada a metodologia proposta no programa de cálculo automático.

5.4.6 –Auto-Estrada Setúbal / Montijo

Os estudos hidrológicos apresentados no projecto de drenagem transversal da auto-estrada Setúbal / Montijo utilizam a fórmula racional, considerando intensidades médias de precipitação resultantes das curvas IDF da região A (**Matos e Silva, 1986**) e tempos de concentração calculados pela fórmula de Pickering. Apenas em pequenas bacias hidrográficas, com áreas sensivelmente inferiores a 5 ha, se verifica serem as intensidades médias de precipitação superiores às consideradas no dimensionamento efectuado pelo programa HIDROPAS, pelo facto deste considerar um tempo de concentração mínimo de 5 min.

Com efeito, os caudais de ponta de cheia do projecto são ligeiramente superiores nas bacias de pequenas dimensões. Na Figura 5.6 verifica-se que, em bacias com áreas superiores a 150 ha, os caudais de ponta de cheia do projecto se afastam progressivamente dos caudais obtidos com o programa de cálculo proposto. Esta ocorrência pode ser justificada pelo valor do coeficiente de escoamento adoptado no projecto ($C=0,35$).

O dimensionamento hidráulico efectuado no projecto (Quadro F10 do Anexo F), para os mesmos caudais de dimensionamento, apresenta resultados semelhantes ao dimensionamento hidráulico resultante da aplicação do módulo HIDCALC. De referir que não se apresentam os resultados do dimensionamento efectuado pelo programa de cálculo, por estes serem idênticos aos do Quadro F10 do Anexo F.

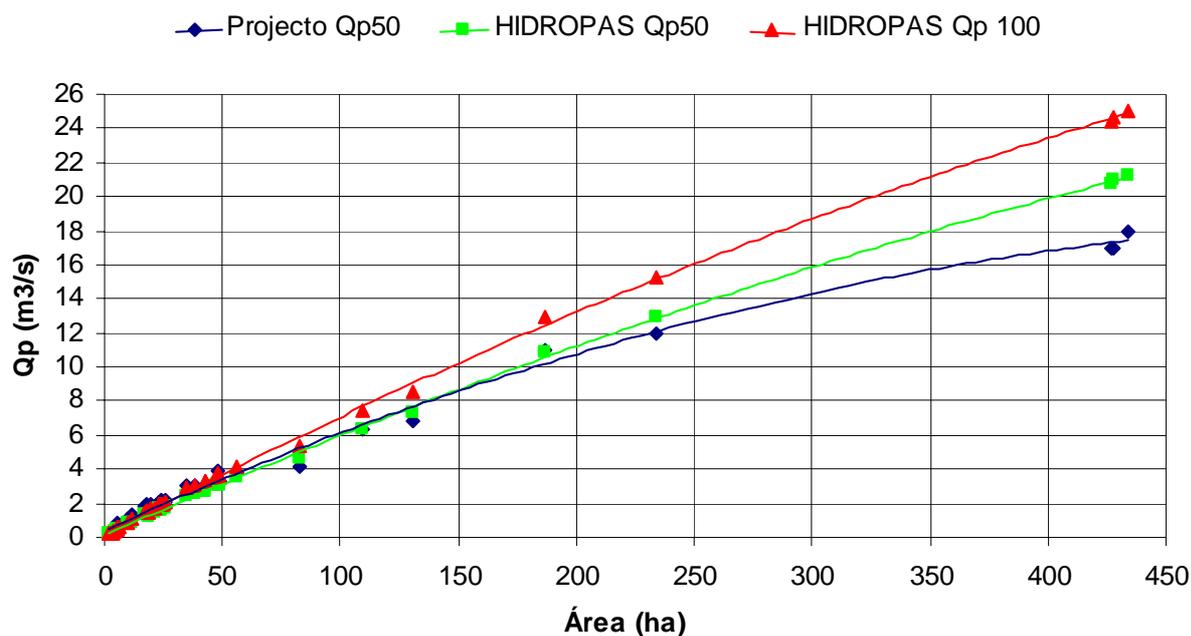


Figura 5.6 – Auto-Estrada Setúbal Montijo (A12). Caudais de ponta de cheia.

5.4.7 – Ligação do IP5 ao IP3. Variante a Viseu

A determinação dos caudais de ponta de cheia foi efectuada a partir dos dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica relativos à estação climatológica de Viseu. As intensidades médias de precipitação utilizadas pelo projectista no cálculo dos caudais de ponta de cheia foram retiradas das curvas IDF para a região de Viseu (Figura 5.1).

Da análise dos Quadros F7 e G15, verifica-se que os caudais de ponta de cheia considerados no projecto são próximos dos caudais de ponta de cheia obtidos no programa HIDROPAS. No entanto, para as bacias de maiores dimensões os caudais considerados no projecto são inferiores aos obtidos no presente estudo, pelo facto da fórmula de Ventura utilizada pelo projectista sobrestimar o tempo de concentração. Na Figura 5.7 apresentam-se curvas correspondentes aos caudais de ponta de cheia para diferentes períodos de retorno.

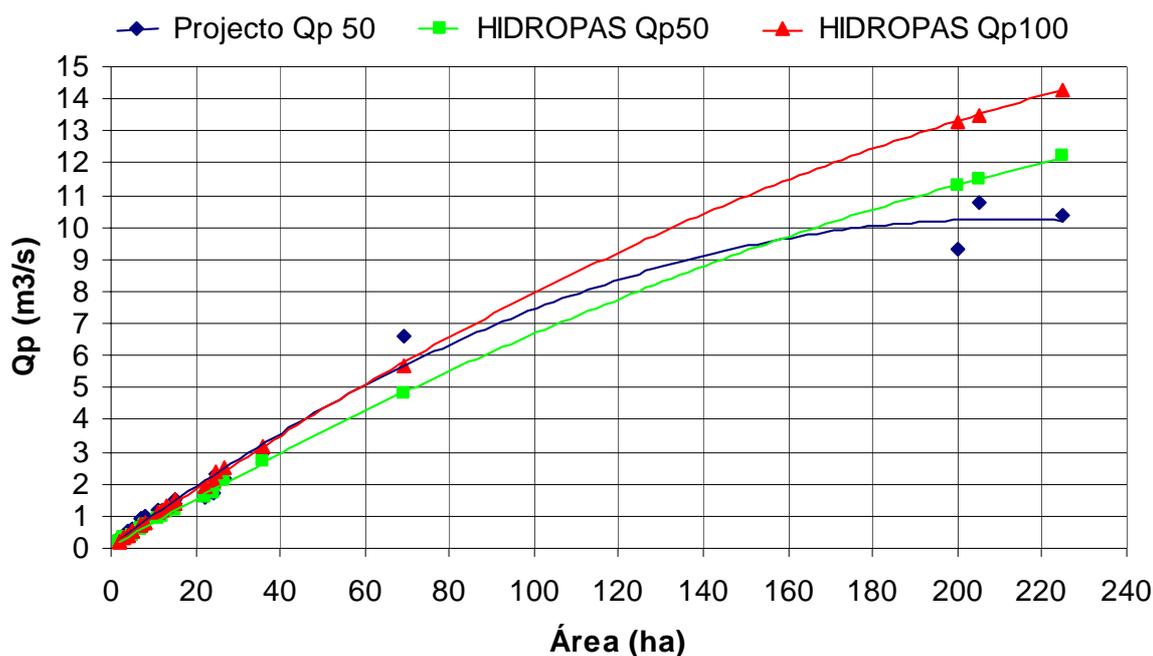


Figura 5.7 – Ligação do IP3 ao IP5. Caudais de ponta de cheia previstos no projecto e os calculados pelo programa HIDROPAS.

O dimensionamento hidráulico efectuado no projecto (Quadro F11 do Anexo F) conduz a secções transversais semelhantes às que resultam do dimensionamento hidráulico efectuado pelo programa HIDCALC (Quadro G17 do Anexo G).

5.5 – CONSIDERAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e as análises comparativas efectuadas conduzem às seguintes conclusões:

- para bacias hidrográficas com áreas inferiores a 5 ha, os caudais de pontas de cheia são normalmente sobreavaliados devido às elevadas intensidades médias de precipitação resultantes de considerar tempos de concentração inferiores a 5 min, que correspondem a extrapolações do intervalo de tempo para o qual as curvas foram deduzidas; deste modo, sugere-se que o tempo de concentração mínimo seja limitado a 5 min;

- as fórmulas de Ventura e de Temez sobreavaliam o tempo de concentração na generalidade das bacias hidrográficas, relativamente à fórmula de Kirpich (Pickering e David);
- na maioria dos projectos de drenagem transversal, para calcular o caudal de ponta de cheia em bacias é utilizada a fórmula racional;
- os caudais de ponta de cheia resultantes da aplicação da fórmula racional nem sempre são similares para bacias semelhantes, pois a escolha do coeficiente de escoamento é frequentemente pouco criteriosa;
- a intensidade média de precipitação é geralmente calculada a partir das curvas IDF de **Matos e Silva (1986)**;
- no presente estudo, os métodos do SCS (Soil Conservation Service), de Mockus e de Temez apresentam valores semelhantes para os caudais de ponta de cheia;
- o dimensionamento hidráulico de aquedutos é, nos diferentes casos de estudo analisados, efectuado a partir dos ábacos do USBPR (Anexo B);
- utilizando o módulo HIDCALC no dimensionamento hidráulico de aquedutos, obtêm-se resultados semelhantes aos fornecidos pelos ábacos do USBPR;
- em todas as passagens hidráulicas analisadas o controlo do escoamento é na secção de montante; esta situação é normalmente aconselhada uma vez que o caudal admitido apenas é condicionado pela altura de água a montante, pelo tipo de estrutura de entrada e pela inclinação do aqueduto;
- no sentido de evitar prejuízos, quer na futura via, quer nas propriedades adjacentes, é considerado, na maioria dos projectos, um valor para a relação entre a altura de água a montante e o diâmetro ou altura do aqueduto (H_w/D) inferior a 1,35, tal como as normas de projecto da BRISA preconizam (**Brisa, 1974**);
- em geral, procuram-se evitar velocidades à saída dos aquedutos superiores a 4,50 m/s, uma vez que, na maioria dos casos, implicam a adopção de estruturas de dissipação de energia em betão normalmente mais caras que o enrocamento de protecção;
- as estruturas de dissipação de energia só são normalmente utilizadas quando não é possível reduzir a velocidade à saída dos aquedutos para valores compatíveis com a capacidade de resistência do leito à erosão, recorrendo ao aumento de secções ou à redução dos declives dos aquedutos.