

O EFEITO DA OCUPAÇÃO URBANA NOS CAUDAIS DE PONTA DE CHEIAS NATURAIS EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Maria Manuela PORTELA

Professora Auxiliar, IST. DECivil. Avenida Rovisco Pais. 1049-001 LISBOA. Tel.: (351 1) 21 8418142; E-mail:mps@civil.ist.utl.pt

Ana Teresa SILVA

Aluna de Engenharia do Ambiente, IST. Avenida Rovisco Pais. 1049-001 LISBOA

Carla Patrícia MELIM

Aluna de Engenharia do Ambiente, IST. Avenida Rovisco Pais. 1049-001 LISBOA

RESUMO: Analisa-se o aumento dos caudais de ponta de cheia na secção de referência de uma pequena bacia hidrográfica em consequência do aumento da área da bacia com ocupação urbana. Para traduzir a utilização/ocupação do solo na *situação actual* e em dois *cenários* de expansão urbana recorreu-se ao parâmetro número de escoamento, CN. As reduções do tempo de concentração e das perdas de precipitação que decorrem do aumento da área com ocupação urbana e que conduzem ao aumento dos caudais de ponta de cheia foram avaliadas com base naquele parâmetro, por aplicação de procedimentos propostos pelo *Soil Conservation Service*, SCS.

A terminar, apresenta-se uma breve referência ao contexto legislativo que regulamenta a ocupação, a utilização e o ordenamento do domínio hídrico no território nacional.

PALAVRAS-CHAVE: Ocupação urbana, SCS, número de escoamento, perda de precipitação e caudal de ponta da cheia natural.

1. INTRODUÇÃO

Apresenta-se a análise efectuada com base na bacia hidrográfica do rio Maior com o objectivo de avaliar em que medida a intensificação da ocupação urbana da bacia pode determinar o aumento dos caudais de ponta de cheias naturais. Para tal, a anterior intensificação foi assimilada a aumentos da área impermeável da bacia hidrográfica.

O parâmetro que usualmente permite atender à utilização/ocupação do solo numa bacia hidrográfica, tendo também em conta a incidência das áreas impermeáveis, é o número de escoamento ou *curve number*, CN. Mediante a aplicação de procedimentos desenvolvidos pelo *Soil Conservation Service*, SCS (*Soil Conservation Service*, 1968 e 1972, *in* VIESSMAN e LEWIS, 1996, p. 73 a 76 e p. 183), tal parâmetro pode ser incorporado no cálculo de tempos de concentração e de perdas de precipitação e, consequentemente, na caracterização de cheias resultantes de precipitações intensas.

No item 2 apresentam-se as principais características fisiográficas da bacia hidrográfica analisada, constando os cálculos hidrológicos efectuados e as correspondentes conclusões do item 3. A terminar, procede-se, no item 4, a uma breve sistematização da legislação nacional aplicável no âmbito da ocupação, utilização e ordenamento do domínio hídrico.

O estudo efectuado permitiu concluir que o aumento do caudal de ponta de cheia devido ao aumento da área impermeabilizada em consequência da maior ocupação urbana de uma pequena bacia hidrográfica pode ser muito acentuado. A redução das perdas de precipitação é o factor que mais contribui para o aumento do caudal de ponta de cheia. Contudo, os aumentos deste caudal que advêm



exclusivamente da diminuição do tempo de concentração, em consequência da maior incidência da área impermeável, também podem ser significativos.

2. BREVE DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAIOR

Para apreciar o efeito da alteração da ocupação urbana na génese de cheias naturais, designadamente na variação do caudal de ponta de cheia, seleccionou-se uma bacia hidrográfica com área pequena por forma a que fosse sensível a uma intensificação (aumento) da área com ocupação urbana. Para o efeito, optou-se pela bacia hidrográfica de Rio Maior, na secção com a mesma designação, localizada na **Figura 1** e apresentando as seguintes características principais:

- Bacia hidrográfica

Área	34.4 km ²
Altitude média	161.5 m
Altura média	94.5 m
Declive médio	18.6 %
- Curso de água principal

Comprimento	11.5 km
Declive médio	2.43 %
Declive entre 10% e 85% do comprimento	1.15 %

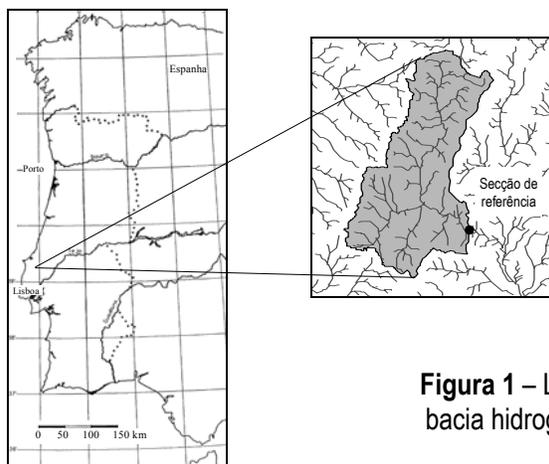


Figura 1 – Localização geral da bacia hidrográfica do rio Maior.

Com base na análise da carta geológica da região em que se insere a bacia hidrográfica (Carta Geológica nº 26-D, à escala 1/50 000) e na informação constante do Plano Director Principal, PDM, do Concelho de Rio Maior (PDM, 1995), no que respeita ao uso e à cobertura actuais do solo, procedeu-se à avaliação do número de escoamento, CN (Soil Conservation Service, 1968, *in* VISSMAN e LEWIS, 1996, p. 73 a 76) correspondente à *situação actual* de utilização/ocupação dos solos da bacia – **Quadro 1**.

Para o efeito e atendendo primeiramente à constituição geológica dos solos da bacia hidrográfica, efectuou-se a sua distribuição pelos quatro grupos de solos – grupos A, B, C e D – a que, de acordo

com a classificação proposta pelo SCS, correspondem diferentes comportamentos hidrológicos, em termos da capacidade de produção de escoamento à superfície do terreno.

Quadro 1 – Número de escoamento na *situação actual* de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Maior.

		Grupo de solo ⁽¹⁾						Total da área (%)
		A		B		C		
		Área (%)	CN (-)	Área (%)	CN (-)	Área (%)	CN (-)	
Uso do solo	Área agrícola	5	65	23	76	9	84	37
	Floresta	8	46	35	68	13	78	56
	Outro	1	100	4	100	2	100	7
Total da área (%)		14		62		24		100

Número de escoamento ponderado para a bacia hidrográfica do rio Maior	AMC II	73
	AMC III	86

- (1) Grupo A – Solos dando origem a baixo escoamento superficial potencial e a elevada infiltração, mesmo quando totalmente encharcados.
 Grupo B – Solos que apresentam infiltração moderada quando totalmente encharcados.
 Grupo C – Solos com baixa infiltração quando totalmente encharcados.
 Grupo D – Solos dando origem a elevado escoamento superficial potencial, apresentando taxas de infiltração muito reduzidas quando totalmente encharcados (não ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Maior).

A informação assim sistematizada foi cruzada com a apresentada no PDM, por forma a estabelecer o padrão do uso do solo em cada um daqueles grupos de solo. Na fixação do número de escoamento representativo dos grupos e dos usos de solos na bacia hidrográfica consideraram-se condições antecedentes de humidade relativas à situação AMC III (condições antecedentes mais húmidas) que, de acordo com CORREIA, 1984, p. 3 a 6, são as que mais frequentemente se registam em Portugal Continental antes da ocorrência de cheias excepcionais. Os números de escoamento para tal situação obtêm-se dos números de escoamento apresentados em tabelas para condições antecedentes de humidade médias (AMC II) (Soil Conservation Service, 1968, *in* VIESSMAN e LEWIS, 1996, p. 74) por aplicação da seguinte equação (CHOW *et al.*, 1988, p. 145):

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN(II)}}{10 + 0.13 \text{ CN(II)}} \quad (1)$$

em que CN(II) e CN(III) representam os números de escoamento para condições AMC II e AMC III, respectivamente.

No **Quadro 1** apresentam-se os números de escoamentos atribuídos aos grupos e usos de solo identificados na bacia hidrográfica do rio Maior na situação AMC II. Regista-se que se admitiu que a área actual com ocupação urbana coincidiria com a área identificada no PDM como não sendo agrícola ou florestal e poderia ser assimilada a uma zona praticamente impermeável (CN=100). Por ponderação dos anteriores números, tendo em conta as percentagens da área total da bacia hidrográfica em que ocorrem, obteve-se o valor de 73 para o número de escoamento na bacia hidrográfica em condições antecedentes de humidade médias (AMC II).

O correspondente número de escoamento em condições antecedentes mais húmidas (AMC III) foi avaliado por aplicação de (1) em 83, considerando-se representar a *situação actual* de utilização/ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Maior.

3. CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

3.1. Metodologia e resultados

O cálculo de caudais de ponta de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica do rio Maior utilizou o seguinte procedimento sequencial, desenvolvido a partir de registos de precipitações intensas:

- a) Selecção de postos udométricos que, influenciando a bacia hidrográfica do rio Maior e dispondo de séries longas de registos de precipitação diária máxima anual (pdma), permitissem caracterizar as precipitações intensas na bacia.
- b) Análise estatística das séries de precipitação diária máxima anual nos postos ou posto anteriormente identificados, mediante a aplicação da lei de Gumbel.
- c) Estimativa das precipitações diárias máximas anuais na bacia hidrográfica para os períodos de retorno com relevância para o problema. Não obstante a legislação nacional em vigor referir apenas a delimitação de leitos de cheia com base em cheias centenárias, inclui-se na análise efectuada também a cheia com período de retorno de 500 anos cuja adopção é, por exemplo, sugerida nos Estados Unidos da América, no âmbito de medidas de protecção contra cheias (SARAIVA, 1987).
- d) Em complemento da *situação actual*, estabelecimento de hipotéticos cenários – *cenários 1 e 2* – transcrevendo o aumento da área da bacia hidrográfica do rio Maior com ocupação urbana.
- e) Avaliação, para os períodos de retorno considerados, das precipitações máximas anuais com duração igual ao tempo de concentração (t_c) da bacia hidrográfica (*precipitações de projecto*).
- f) Cálculo das perdas de precipitação correspondentes às anteriores precipitações.
- g) Estimativa, por aplicação da fórmula de racional, dos caudais de ponta de cheia que decorrem das *precipitações de projecto* deduzidas das anteriores perdas de precipitação.

As três últimas etapas foram desenvolvidas para a *situação actual* de uso do solo da bacia hidrográfica e para dois *cenários* de aumento da área ocupada por zona urbana.

No que respeita à identificação de posto udométricos que permitissem descrever o regime de precipitações intensas na bacia hidrográfica do rio Maior, concluiu-se que apenas o posto de Santa Catarina (17C/03) dispõe de uma série suficientemente longa de pdma e tem influência naquela bacia. No **Quadro 2** apresenta-se a correspondente série de precipitações diárias máximas anuais no período de 46 anos, entre 1948/49 e 1994/95, com excepção do ano de 1978/79 com falha de registo, bem como as características estatísticas mais relevantes de tal série (média, desvio-padrão e coeficiente de assimetria). Observa-se que, constituindo a precipitação diária máxima anual uma variável aleatória, é válida a análise estatística baseada em séries descontínuas de registos da variável.

A análise estatística da anterior série e as seguintes estimativas das precipitações diárias máximas anuais para os períodos de retorno de 100 e 500 anos adoptados no estudo utilizaram apenas a lei de Gumbel que é reconhecida como a lei estatística que melhor caracteriza o fenómeno da precipitação intensa em Portugal Continental (PEREIRA, 1995, p. 132). As precipitações diárias máximas anuais para aqueles períodos de retorno foram estimadas em 96.3 mm e 115.3 mm, respectivamente.

A avaliação, para um dado período de retorno, T , do caudal de ponta de cheia numa bacia hidrográfica adopta, muito frequentemente, como *precipitação de projecto* a precipitação intensa com duração igual ao tempo de concentração, t_c , da bacia (CHOW *et al.*, 1988, p. 497, e VIESSMAN e LEWIS, 1996, p. 360). De facto, a tal duração (*duração de projecto*) corresponde a máxima intensidade

média da precipitação que assegura a contribuição simultânea de toda a bacia hidrográfica para o escoamento na secção terminal.

**Quadro 2 – Precipitações diárias máximas anuais no posto de Santa Catarina (17C/03).
Características estatísticas.**

Ano hidrológico	Pdma (mm)	Ano hidrológico	Pdma (mm)	Ano hidrológico	Pdma (mm)	Ano hidrológico	Pdma (mm)
48/49	40.6	60/61	51.6	72/73	40.2	84/85	53.6
49/50	30.2	61/62	48.9	73/74	48.5	85/86	35.6
50/51	40.2	62/63	61.0	74/75	34.5	86/87	45.2
51/52	51.2	63/64	36.9	75/76	50.0	87/88	53.6
52/53	28.2	64/65	68.8	76/77	44.0	88/89	38.1
53/54	40.5	65/66	62.2	77/78	62.5	89/90	59.6
54/55	21.5	66/67	77.0	78/79	--	90/91	42.5
55/56	50.2	67/68	73.9	79/80	40.3	91/92	31.2
56/57	86.3	68/69	82.2	80/81	47.7	92/93	30.0
57/58	38.6	69/70	47.0	81/82	41.0	93/94	66.5
58/59	62.0	70/71	30.9	82/83	41.0	94/95	46.0
59/60	56.0	71/72	76.0	83/84	37.4		
Média (mm)				48.9			
Desvio-padrão (mm)				15.10			
Coeficiente de assimetria (-)				0.678			

Exprimindo t_c o tempo que a gota de água precipitada no ponto cinematicamente mais afastado da secção de referência da bacia hidrográfica demora a alcançar tal secção, espera-se que tal parâmetro possa também ser influenciado por diferentes ocupações da bacia hidrográfica, desde que tais ocupações alterem as características do movimento de que resulta a concentração da água na secção de referência da bacia.

Assim, admite-se que o aumento da área com ocupação urbana possa resultar numa diminuição de t_c por promover a concentração mais rápida da água, fundamentalmente como resultado do aumento da área impermeável que oferece menor resistência ao escoamento.

Para exprimir a diminuição do tempo de concentração em consequência do aumento da área urbanizada, procedeu-se à avaliação de t_c por aplicação da seguinte fórmula, proposta pelo *Soil Conservation Service*, SCS (*Soil Conservation Service*, 1972, in VISSMAN e LEWIS, 1996, p. 183):

$$t_c = \frac{100}{0.3038^{0.8}} \times \frac{L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 \times S_m^{0.5}} \quad (2)$$

em que é

- t_c tempo de concentração (min),
- L comprimento do curso de água principal (m),
- Sm declive médio da bacia hidrográfica (%),
- CN número de escoamento na bacia hidrográfica.

Pelo facto de a anterior fórmula fazer intervir o número de escoamento, CN, permite ter em conta o efeito em t_c da ocupação urbana da bacia hidrográfica e da eventual evolução de tal ocupação, desde que a mesma seja equacionada em termos de variações do valor daquele parâmetro.

Para tanto, a expressão (2) foi aplicada à avaliação dos tempos de concentração na *situação actual* da bacia hidrográfica do rio Maior e nos dois hipotéticos *cenários 1* e *2* de aumento da área com ocupação urbana, caracterizados no **Quadro 3**. No estabelecimento destes cenários considerou-se que a percentagem de área da bacia hidrográfica ocupada por zonas urbanas aumentaria do seu valor actual de 7%, para 20% (*cenário 1*) e para 40% (*cenário 2*). Anota-se que, em face da reduzida área da bacia hidrográfica, o acréscimo para 40% da área urbanizada, que poderia parecer excessivo, corresponde a um aumento efectivo da área ocupada por zonas urbanas apenas de cerca de 11 km² que se julga poder ocorrer, se não na bacia hidrográfica do rio Maior, noutras bacias também com pequena área e sujeitas a maior pressão urbana.

Quadro 3 – Cenários correspondentes ao aumento das zonas da bacia hidrográfica do rio Maior com ocupação urbana .

		Situação actual	Cenário de expansão urbana	
			1	2
Área com ocupação urbana	Percentagem	7	20	40
	Área (km ²)	2.5	6.9	13.8
CN (AMC III)		86	89	92

No **Quadro 4** apresenta-se o cálculo dos números de escoamentos indicados no **Quadro 3** para os *cenários 1* e *2*. Nesse cálculo admitiu-se que, em cada grupo de solos, as novas zonas urbanas ocupariam áreas anteriormente afectas a usos agrícolas ou florestais proporcionalmente às percentagens indicadas no **Quadro 1**.

Quadro 4 – Números de escoamento correspondentes aos *cenários 1* e *2* de utilização/ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Maior.

			Grupo de solo						Total da área (%)
			A		B		C		
			Área (%)	CN (-)	Área (%)	CN (-)	Área (%)	CN (-)	
Cenário 1	Uso do solo	Área agrícola	4.30	65	19.80	76	7.72	84	31.82
		Floresta	6.88	46	30.14	68	11.16	78	48.17
		Outro	2.82	100	12.06	100	5.12	100	20.00
	Total da área (%)		14.00		62.00		24.00		100.00
	Número de escoamento		AMC II		77		AMC III		89
Cenário 2	Uso do solo	Área agrícola	3.22	65	14.89	76	5.76	84	23.87
		Floresta	5.16	46	22.65	68	8.32	78	36.13
		Outro	5.62	100	24.46	100	9.92	100	40.00
	Total da área (%)		14.00		62.00		24.00		100.00
	Número de escoamento		AMC II		83		AMC III		92

A aplicação da equação (2) às características da bacia hidrográfica sistematizadas no item 1 e aos números de escoamento do **Quadro 3** conduziu aos seguintes tempos de concentração, t_c :

<i>Situação actual</i> (CN=86)	$t_c = 1.84$ h
<i>Cenário 1</i> (CN=89)	$t_c = 1.64$ h
<i>Cenário 2</i> (CN=92)	$t_c = 1.45$ h

Para cálculo, com base nas precipitações diárias máximas anuais e períodos de retorno de 100 e de 500 anos, das precipitações máximas anuais com durações iguais aos anteriores tempos de concentração utilizou-se a seguinte equação (BRANDÃO e HIPÓLITO, 1997):

$$\frac{P}{P^*} = \left(\frac{D}{D^*} \right)^{0.367} \quad (3)$$

em que P e P* designam precipitações intensas com durações, respectivamente, D e D*. Os resultados obtidos são apresentados no **Quadro 5**.

Quadro 5 – Precipitações máximas com durações iguais aos tempos de concentração na *situação actual* e nos *cenários 1 e 2* e períodos de retorno de 100 e 500 anos.

Período de retorno, T (anos)	Precipitação máxima anual com duração t_c		
	<i>Situação actual</i> $t_c = 1.84$ h (mm)	<i>Cenário 1</i> $t_c = 1.64$ h (mm)	<i>Cenário 2</i> $t_c = 1.45$ h (mm)
100	37.5	36.0	34.4
500	44.9	43.1	41.2

O cálculo das perdas de precipitação correspondentes às precipitações intensas do **Quadro 5** e, conseqüentemente, das precipitações efectivas responsáveis pelo escoamento directo observado em condições de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica do rio Maior, utilizou o modelo de perdas de precipitação do *Soil Conservation Service* (Soil Conservation Service, 1972, in CHOW *et al.*, 1988, p. 147 a 155). Este modelo faz também intervir o parâmetro CN pelo que permite quantificar a diminuição das perdas de precipitação que se espera resultar de um aumento da área urbana em consequência do correspondente aumento da área impermeável e, logo, da diminuição das perdas por infiltração.

As equações que exprimem o modelo de perdas do SCS são dadas por

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (4)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

em que é

- S retenção potencial máxima (mm),
- CN número de escoamento ponderado para a bacia hidrográfica,
- P precipitação (mm),
- I_a perdas iniciais (mm),
- P_e precipitação efectiva (mm).

Com base em estudos experimentais em pequenas bacias hidrográficas agricultadas, o SCS propôs que as perdas iniciais, l_a , fossem aproximadas por

$$l_a = 0.2 S \quad (6)$$

A anterior equação pode ser escrita, em termos gerais, por

$$l_a = k S \quad (7)$$

em que k é um factor que permite expressar l_a em função de S .

PONCE, 1989, p. 156, refere que o factor k tem sido objecto de análise “minuciosa” que exemplifica com as conclusões de SPRINGER *et al.* (in PONCE, 1989, p. 156) que indicam que, em pequenas bacias hidrográficas em zonas moderadamente húmidas ou semi-áridas, k está compreendido entre 0.0 e 0.26.

A única análise crítica do valor do factor k para Portugal Continental de que as autoras do presente artigo têm conhecimento é apresentada em CORREIA, 1984, que afirma que o valor médio de 0.2 proposto pelo SCS não foi verificado “de forma inteiramente concludente” (p. 2), reconhecendo, aquele autor, que tal valor conduz a precipitações efectivas muito baixas (p. 6). Por este motivo, CORREIA, 1984, p. 13 a 16, propõe um método de cálculo iterativo que, actuando sobre a própria duração da chuvada, conduz a menores perdas iniciais.

Antecedendo a análise efectuada por CORREIA, 1984, LNEC, 1975, também apresenta resultados decorrentes da aplicação do modelo de perdas da precipitação do SCS a uma pequena bacia hidrográfica, sem que, contudo, sejam comentadas, como seria de esperar, as consideravelmente excessivas perdas de precipitação então alcançadas.

Na tentativa de fixar o factor k a aplicar à bacia hidrográfica do rio Maior, ensaiaram-se vários valores para o mesmo. No **Quadro 6** exemplificam-se alguns dos resultados obtidos com base na precipitação de 37.5 mm, correspondente à *situação actual* ($t_c = 1.84$ h e $CN = 86$) e ao período de retorno de $T=100$ anos (**Quadro 5**).

Quadro 6 – Resultados da aplicação do modelo de perdas do SCS à *precipitação de projecto* para o período de retorno de 100 anos na *situação actual*.

CN	t_c (h)	P (mm)	S (mm)	k (-)	l_a (mm)	Pe (mm)	P-Pe (mm)
86	1.84	37.5	41.3	0.20	8.3	12.1	25.4
				0.10	4.1	14.9	22.6
				0.05	2.1	16.4	21.2
				0.00	0.0	17.9	19.7

O anterior quadro evidencia que as perdas de precipitação (coluna P-Pe) não são muito sensíveis ao valor do factor k . De acordo com os resultados generalizadamente aceites na análise de cheias em Portugal Continental, tais perdas afiguram-se excessivas mesmo para $k=0$.

Tendo em conta as análises precedentes de LNEC, 1975, e de CORREIA, 1984, bem como os resultados do **Quadro 6**, julga-se, contudo, válido concluir que o facto de o modelo de perdas do SCS sobrestimar as perdas de precipitação e, conseqüentemente, subestimar as correspondentes precipitações efectivas, não decorre tanto das perdas iniciais de precipitação, que podem até ser eliminadas adoptando $k=0$, mas fundamentalmente das perdas contínuas que introduz ao longo da chuvada.

Assim, afigura-se que o modelo em consideração deveria ser objecto de pesquisa adicional que validasse consistentemente a sua aplicabilidade à análise de cheias em Portugal Continental, muito provavelmente introduzindo adequações na formulação matemática do modelo ou factores correctivos dos seus resultados.

Não obstante se reconhecer que o modelo de perdas do SCS conduz, em termos absolutos, a perdas de precipitação excessivas para Portugal Continental, admitiu-se que, em termos relativos, permitiria analisar comparativamente as perdas decorrentes de diferentes utilizações/ocupações do solo de uma pequena bacia hidrográfica. Deste modo, optou-se por prosseguir com a aplicação daquele modelo, considerando, contudo, perdas iniciais nulas ($k=0$).

No **Quadro 7** resumem-se, em função do período de retorno, T , as perdas de precipitação e as correspondentes precipitações efectivas estimadas para a bacia hidrográfica do rio Maior, na *situação actual* e nos dois *cenários* considerados de aumento da área da bacia com ocupação urbana.

Quadro 7 – Perdas de precipitação e precipitação efectiva na *situação actual* e nos *cenários 1 e 2*, para os períodos de retorno de 100 e de 500 anos.

	T=100 anos			T=500 anos		
	<i>Situação actual</i>	<i>Cenário 1</i>	<i>Cenário 2</i>	<i>Situação actual</i>	<i>Cenário 1</i>	<i>Cenário 2</i>
Área com ocupação urbana (%)	7	20	40	7	20	40
CN	86	89	92	86	89	92
Tempo de concentração (h)	1.84	1.64	1.45	1.84	1.64	1.45
Precipitação total (mm)	37.5	36.0	34.4	44.9	43.1	41.2
Perda de precipitação (mm)	19.7	16.8	13.4	21.5	18.2	14.4
Precipitação efectiva (mm)	17.9	19.2	20.9	23.4	24.9	26.8

A estimativa dos caudais de ponta de cheia que decorrem das precipitações efectivas apresentadas no anterior quadro utilizou a fórmula racional expressa por

$$Q = ciA \quad (8)$$

em que Q representa o caudal de ponta de cheia (m^3/s), c é um coeficiente que traduz o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica e as condições antecedentes de humidade, dependendo também do período de retorno, i refere-se à intensidade média da precipitação total com duração igual ao tempo de concentração (m/s) e A , à área da bacia hidrográfica (m^2).

Não obstante (8) ter sido aplicada à intensidade, não da precipitação total, mas já da precipitação efectiva, adoptou-se um coeficiente c inferior à unidade, designadamente 0.98, por forma a ter em conta o efeito da detenção superficial na não concentração simultânea do escoamento na secção de referência da bacia hidrográfica.

No **Quadro 8** apresentam-se os caudais de ponta de cheia obtidos, conjuntamente com o resumo dos resultados mais relevantes do estudo hidrológico.

3.2. Conclusões

Com base no **Quadro 8** e considerando como referência os resultados relativos à *situação actual* verifica-se que:

- Os tempos de concentração nos *cenários 1 e 2* representam respectivamente cerca de 89% e de 79% do tempo de concentração na *situação actual*. Tendo em conta a relação (3),



conclui-se que tais reduções de t_c corresponderiam, por si só, a acréscimos da intensidade média das *precipitações de projecto* e, conseqüentemente, do caudal de ponta de cheia fornecido pela fórmula racional, de 7.6% e 16.3%.

Quadro 8 – Caudais de ponta de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica do rio Maior na *situação actual* e nos *cenários* considerados de expansão da área urbana.

		<i>Situação actual</i>	<i>Cenário 1</i>	<i>Cenário 2</i>
Ocupação urbana	Área (km ²)	2.5	6.9	13.8
	Percentagem da área (%)	7	20	40
Número de escoamento (-)		86	89	92
Tempo de concentração (h)		1.84	1.64	1.45
Período de retorno de T=100 anos	Precipitação de projecto (mm)	37.5	36.0	34.4
	Perda de precipitação (mm)	19.7	16.8	13.4
	Precipitação efectiva (mm)	17.9	19.2	20.9
	Intensidade da precipitação efectiva (mm/h)	9.7	11.7	14.4
	caudal de ponta de cheia (m³/s)	91	110	135
Período de retorno de T=500 anos	Precipitação de projecto (mm)	44.9	43.1	41.2
	Perda de precipitação (mm)	21.5	18.2	14.4
	Precipitação efectiva (mm)	23.4	24.9	26.8
	Intensidade da precipitação efectiva (mm/h)	12.7	15.2	18.5
	caudal de ponta de cheia (m³/s)	119	142	173

- As perdas de precipitação nos *cenários 1 e 2* reduzem-se para 85% e 68%, para T=100 anos, e para 84% e 67%, para T=500 anos.
- Por efeito combinado das reduções dos tempos de concentração e das perdas de precipitação, as intensidades médias das precipitações efectivas e, portanto, os caudais de ponta de cheia nos *cenários 1 e 2*, sofrem aumentos sensivelmente de 21% e 49%, para T=100 anos, e de 19% e 45%, para T=500 anos.

Com base na bacia hidrográfica do rio Maior e de acordo com a metodologia de análise aplicada, conclui-se, assim, que o aumento do caudal de ponta de cheia devido ao aumento da área impermeabilizada resultante de uma maior ocupação urbana da bacia pode ser muito acentuado, sendo tanto mais significativo, quanto maior é o período de retorno.

A redução das perdas de precipitação é o factor que mais contribui para o aumento do caudal de ponta de cheia. Contudo, os aumentos deste caudal que, especialmente para o maior período de retorno analisado, advêm exclusivamente da diminuição do tempo de concentração, em consequência da maior incidência da área impermeável, são também significativos.

Julga-se que a análise efectuada alerta para a importância de preceder sistematicamente as intervenções urbanas, designadamente em pequenas bacias hidrográficas, do estudo dos seus efeitos na génese das cheias naturais.

Por fim, reforça-se o facto de se afigurar pertinente desenvolver investigação, que incluirá necessariamente uma componente experimental, por forma a adequar o modelo de perdas do *Soil Conservation Service* à análise de cheias em Portugal Continental. Este aspecto é tanto mais importante, quanto o modelo em consideração constitui uma ferramenta corrente na prática de hidrologia. Para tal adequação muito poderia contribuir a observação das sucessivas cheias históricas excepcionais em pequenas bacias hidrográficas sujeitas a expansão urbana. De facto, a intensificação da ocupação urbana tem sido frequentemente apontada como causa do aumento dos caudais de ponta

de cheia, especialmente após a ocorrência de cheias com prejuízos importantes julgando-se, contudo, que não tem constituído procedimento habitual a caracterização sistemática da relação causa/efeito em presença.

4. BREVE ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

4.1. Considerações prévias

Com vista a regulamentar a ocupação e a utilização do domínio hídrico, prevenindo intervenções desordenadas, frequentemente resultantes de pressões urbanísticas, foram tomadas, em Portugal, várias iniciativas a nível legislativo (COSTA e GONÇALVES, 2000).

Para além do enquadramento legislativo no domínio da gestão dos recursos hídricos, há também a considerar a legislação referente ao planeamento económico-social e ao ordenamento do território, à protecção do ambiente e dos recursos hídricos e ainda legislação referente à defesa contra riscos naturais e à protecção civil (SARAIVA, 1987).

Identifica-se a principal legislação no âmbito do tema do presente artigo, referindo-se, de modo sucinto, aspectos relevantes do seu conteúdo.

4.2. Gestão de recursos hídricos

4.2.1. Decreto-Lei nº 468/71, de 5 de Novembro

A legislação relacionada com a gestão dos recursos hídricos entendida no sentido lato, ou seja, da relação de tais recursos com a sociedade em geral, evoluiu ao longo do tempo, reflectindo as prioridades de diferentes gerações, tornando-se de algum modo dispersa e inconsistente (CORREIA, 1991).

A apresentação de tal legislação inicia-se pelo Decreto-Lei nº 468/71, de considerável relevância por constituir uma das bases para a definição da jurisdição e tutela da entidade responsável sobre a gestão dos cursos de água e das zonas envolventes. São nele definidas três importantes figuras: o *leito*, correspondendo ao terreno coberto pelas águas, quando não influenciadas por cheias extraordinárias (art. 2º); a *margem*, referente à faixa de terreno contígua ou sobranceira à linha que limita o leito (art. 3º) e a *zona adjacente*, entendida como a área contígua à margem que, como tal, seja classificada por decreto por se encontrar ameaçada pelas cheias (art.4º).

Este diploma clarifica, assim, a delimitação entre o leito e a margem, estabelecendo a largura da margem em função de características do curso de água (art. 3º). No entanto, não fixa a largura das zonas adjacentes, declarando apenas que as mesmas se estendem desde o limite da margem até à linha convencional definida, para cada caso, no Decreto de Classificação (art. 4º). Estabelece ainda o critério para identificação da zona ameaçada por cheias que, contudo, foi objecto de posterior reformulação no Decreto-Lei nº 89/87.

O Decreto-Lei nº 468/71 constitui um marco importante no ordenamento do domínio hídrico pois estipula que as margens e os cursos de água devem ficar livres de qualquer construção e introduz pela primeira vez o conceito de zona adjacente onde a construção é condicionada ou proibida.

4.2.2. Decreto-Lei nº 513-P/79, de 26 de Dezembro

O Decreto-Lei nº 513-P/79 visou estabelecer um regime de transição entre a aplicabilidade prática das disposições consignadas no Decreto-Lei 468/71 e da legislação que o precede.



Deste modo, as disposições do regime das zonas adjacentes (estipuladas no art.15 do Decreto-Lei 468/71) são aplicadas aos campos marginais tradicionalmente inundados pelas águas, quer ordinárias, quer em situações de cheia, mesmo que tais zonas não se encontrem ainda definidas por Decreto de Classificação, não sendo permitida construção não licenciada nas zonas marginais dos cursos de água afectadas pelas cheias.

4.2.3. Decreto-Lei nº 89/87, de 26 de Fevereiro

O Decreto-Lei nº 89/87, que introduz alterações ao Decreto-Lei 468/71, reflecte a preocupação dominante da defesa contra os estragos causados pelas inundações. Para o efeito, estabelece medidas de protecção à zona ameaçada por cheias, entendida como sendo a zona contígua à margem que se desenvolve até à cota atingida pela cheia com período de retorno de 100 anos (art. 14º).

O art. 14º do diploma estabelece os requisitos a que deve obedecer a aprovação de planos e de anteplos de urbanização, bem como o licenciamento de operações de loteamento urbano ou de quaisquer obras ou edificações em áreas contíguas a cursos de água que não estejam ainda classificadas como áreas adjacentes. Tais intervenções, quando inseridas nos limites da maior cheia conhecida (ou, desconhecendo-se estes limites, numa faixa de 100 m para cada lado da margem do curso de água), carecem de parecer vinculativo da então Direcção-Geral dos Recursos Naturais (DGRN). Uma vez classificada a área como zona ameaçada por cheias, deve a portaria respectiva conter uma planta delimitando a área classificada e definindo, dentro desta, as zonas de *ocupação edificada condicionada* ou *proibida*.

O art. 15º estabelece que, nas áreas delimitadas como zonas de *ocupação edificada proibida*, é interdito destruir o revestimento vegetal ou alterar o relevo natural, com excepção de culturas tradicionalmente integradas em explorações agrícolas. Nas áreas delimitadas como zonas de *ocupação edificada condicionada* é permitida a instalação de edifícios que constituam complemento indispensável de outros já existentes e devidamente licenciados, mediante parecer favorável da então DGRN. Realça-se a preocupação de fixar as cotas dos pisos inferiores dos edifícios a construir naquelas últimas zonas acima das cotas previstas para a cheia com período de retorno de 100 anos.

4.2.4. Decreto-Lei nº 364/98, de 21 de Novembro

O Decreto-Lei nº364/98 estabelece a obrigatoriedade de elaboração de cartas de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos que foram atingidos por cheias num período que incluía pelo menos o ano de 1967 e que não estejam abrangidos por zonas adjacentes classificadas.

O diploma transcreve o que foi regulamentado nos demais decretos anteriormente citados, referindo que as Câmaras Municipais devem incluir nos Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) a delimitação das zonas inundáveis, proibindo ou condicionando nas mesmas a construção edificada.

Assim, esta legislação incide directamente sobre a administração local, por regra, alvo de intensa pressão urbanística nos terrenos contíguos a linhas de água, promovendo, ainda, a divulgação no seio da população dos riscos associados à ocupação daqueles terrenos e, consequentemente, a prevenção mais eficaz contra esses mesmos riscos (COSTA e GONÇALVES, 2000).

4.2.5. Planos de Recursos Hídricos

O planeamento de recursos hídricos é regulado pelo Decreto-Lei nº45/94, de 22 de Fevereiro, que concretiza as regras gerais estabelecidas na Lei de Bases do Ambiente, Lei nº11/87. Segundo o Decreto-Lei nº45/94, o planeamento de recursos hídricos é concretizado mediante planos de recursos hídricos, em dois níveis:

- O **Plano Nacional da Água** que tem por objecto espacial todo o território do Continente e que visa a definição de estratégias nacionais para a valorização e protecção dos recursos hídricos no quadro do ordenamento jurídico nacional e comunitário, a articulação de estratégias de planeamento de cada bacia hidrográfica, bem como a articulação com Espanha de estratégias de gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas luso-espanholas.
- Os **Planos de Bacia Hidrográfica** (PBH) que são instrumentos que obrigam a acção da Administração em matéria de protecção e utilização das águas e que fundamentam as soluções técnicas, normativas, administrativas e financeiras a implementar para resolver as situações críticas detectadas.

Realçam-se dois dos anexos temáticos que, em resultado do desenvolvimento conferido aos estudos relativos aos PBH, integrarão estes planos: o *Anexo 5 – Uso do Solo e Ordenamento do Território* e o *Anexo 8 – Usos e Ocupações do Domínio Hídrico* (SERRA *et al.*, 1999).

O *Anexo 5* tem por objectivo fornecer aos PMOT informação referente ao âmbito da protecção e da valorização dos recursos hídricos, à análise de conflitos entre o uso do solo (potencial/actual/ /planeado) e o meio hídrico e à avaliação da adequabilidade do padrão de ocupação urbana/industrial aos elementos com maior sensibilidade constantes da área do plano.

Os objectivos mais relevantes do *Anexo 8* são a identificação dos principais usos e ocupações do domínio hídrico e a aferição das zonas de cheia resultantes de cada plano de bacia com as zonas de cheia definidas na Reserva Ecológica Nacional (REN) e a verificação das zonas de máxima infiltração.

4.3. Legislação ambiental

A legislação ambiental chave encontra-se expressa na Lei de Bases do Ambiente de 1987 – Lei nº11/87. As principais ferramentas propostas para a implementação dos objectivos estabelecidos nesta lei são, entre outras, a definição da Reserva Ecológica Nacional (REN).

A REN, criada pelo Decreto-Lei nº 321/83, tem carácter essencialmente preventivo, sendo obrigatória a sua delimitação no âmbito dos Planos Regionais, Municipais e Especiais de Ordenamento do Território e dos Planos Directores Municipais.

O regime da REN proíbe a construção edificada em zonas costeiras e ribeirinhas e de águas interiores, em áreas de infiltração máxima e em zonas declivosas.

No que se refere à defesa contra cheias e ao ordenamento da rede hidrográfica, a REN é de relevante importância por incluir as zonas ameaçadas por cheias, considerando ainda a protecção das cabeceiras dos cursos de água e das zonas de risco de erosão elevado.

Verifica-se por vezes uma sobreposição com o domínio hídrico, subjacente aos critérios de delimitação, nomeadamente no que respeita aos leitos dos cursos de água e zonas ameaçadas pelas cheias, não sendo referido no Anexo I da REN o conceito de margem, o que constitui uma omissão importante, sobretudo no caso de cursos de água pouco susceptíveis de ocorrência de cheias (SARAIVA, 1995, p. 118).



4.4. Legislação do uso do solo

A legislação do uso do solo foi recentemente reorganizada. Os Planos Regionais de Ordenamento do Território foram criados em 1988 (Decreto-Lei nº176-A/88) e os Planos Directores Municipais, em 1990 (Decreto-Lei nº 69/90). Existe também um importante instrumento relativo ao uso de solo agrícola, designadamente, a Reserva Agrícola Nacional (RAN).

A RAN foi estabelecida pelo Decreto-Lei nº 196/89, posteriormente alterado pelo Decreto-Lei nº 274/92. Visa proteger os solos de maior aptidão agrícola, passando a sua aplicação pela delimitação dos solos de capacidade de uso muito elevada e elevada. As áreas sujeitas às regulamentações da REN e da RAN devem ser identificadas nos planos locais e regionais.

Uma vez que inclui solos aluviais e coluviais, a RAN constitui um importante instrumento de ordenamento do domínio hídrico, pois os rios e leitos de cheia são abrangidos por medidas específicas de protecção, carecendo as intervenções aí propostas de licenciamento especial.

Os Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) foram estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 69/90. Estas figuras integram os Planos de Urbanização (PU), os Planos de Pormenor (PP) e os Planos Directores Municipais (PDM). Destacam-se estes últimos pela sua abrangência do conjunto do território concelhio e pelo facto de o processo da sua elaboração se estender actualmente de uma forma generalizada a todo o país.

Os Planos Directores Municipais (PDM) são instrumentos de planeamento relevantes no quadro do ordenamento em Portugal que estabelecem uma estrutura espacial para o território municipal, a classificação dos solos e os índices urbanísticos. Procuram, ainda, compatibilizar a protecção e a valorização das áreas agrícolas e florestais e do património natural e edificado.

Têm como elementos fundamentais a planta de ordenamento que delimita as classes de espaços em função do uso dominante e a planta actualizada de condicionantes, que integra as restrições de utilidade públicas decorrentes da REN, da RAN e do domínio público hídrico, entre outras.

4.5. Nota final

As disposições regulamentares e as orientações delineadas pelos instrumentos legais anteriormente citados, se devidamente aplicadas, permitem travar a ocupação frequentemente desmesurada e desorganizada do domínio hídrico, proporcionando os meios legais para a defesa eficaz contra cheias em rios e enquadrando, tal defesa, no ordenamento do território.

Contudo, para a prossecução de uma estratégia de desenvolvimento sustentável é essencial a existência de mecanismos de efectivação do conteúdo daqueles instrumentos. Destaca-se, também, a necessidade de coordenação mútua desses mecanismos, devendo estar bem clarificados os seus âmbitos territoriais e a sua hierarquização.

Bibliografia

- BRANDÃO, C. e HIPÓLITO, J. N., 1997, "Análise da precipitação para o estudo de cheias em Portugal", 3º *Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa* (3º SILUSBA). Maputo. Moçambique.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. e MAYS, L. M., 1988, *Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company. New York.



- CORREIA, F. N., 1984, *Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, ICT, Informação Técnica. Hidráulica. ITH 6. Lisboa.
- COSTA, E. S. e GONÇALVES, I., 2000, "Algumas considerações sobre o licenciamento de utilização do domínio hídrico", *1º Congresso sobre Aproveitamento e Gestão dos Recursos Hídricos em Países de Idioma Português*. Rio de Janeiro. Brasil.
- Decreto-Lei nº 468/71, de 5 de Novembro
- Decreto-Lei nº 513-P/79, de 26 de Dezembro
- Decreto-Lei nº 321/83, de 5 de Julho
- Decreto-Lei nº 176-A/88, de 18 de Maio
- Decreto-Lei nº 89/87, de 26 de Fevereiro
- Lei de Bases do Ambiente de 1987 – Lei nº11/87
- Decreto-Lei nº 196/89, de 14 de Junho
- Decreto-Lei nº 69/90, de 2 de Março
- Decreto-Lei nº 93/90, de 19 de Março
- Decreto-Lei nº 274/92, de 14 de Junho
- Decreto-Lei nº 45/94, de 22 de Fevereiro
- Decreto-Lei nº 364/98, de 21 de Novembro
- LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1975, *Drenagem de estradas, caminhos de ferro e aeródromos. Estudo hidrológico. Determinação de caudais de ponta de cheia em pequenas bacias hidrográficas*. Serviço de Hidráulica. Divisão de Hidráulica Fluvial. Proce.62/12/5309. Lisboa.
- PDM, 1995, *Plano Director Municipal do Concelho de Rio Maior*. Câmara Municipal de Rio Maior.
- PEREIRA, C. B., 1995, *Análise de precipitações intensas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST. Lisboa.
- PILGRIN, D. H. e CORDERY, I., 1992, "Flood runoff", in *Handbook of Hydrology*. Ed. David R. Maidment, McGraw-Hill, Inc., USA, p.9.1-9.42.
- PONCE, V. M., 1989, *Engineering Hydrology. Principles and practices*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- SARAIVA, M.G., 1987, *A Defesa Contra Cheias e a sua Inserção no Ordenamento do Território – Área Metropolitana de Lisboa*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Planeamento Regional e Urbano. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- SARAIVA, M.G., 1995, *O Rio como Paisagem – Gestão de Corredores Fluviais no Quadro do Ordenamento do Território*. Dissertação de Doutoramento em Arquitectura Paisagista. Instituto Superior de Agronomia, ISA. Lisboa.
- SERRA, A. C., COSTA, J. S., FERREIRA, M. F. e ROCHA, R. M., 1999, "Os Planos de Bacia Hidrográfica dos rios Vouga e Mondego: possíveis interações com zonas estuarinas", Seminário "Os Estuários de Portugal e os Planos de Bacia Hidrográfica", Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC. Lisboa.
- Soil Conservation Service, SCS, 1968, "Hydrology", Suplemento A à Secção 4 de *Engineering Handbook*, U. S. Department of Agriculture, Washington D. C. (*)
- Soil Conservation Service, SCS, 1972, *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, disponível a partir de U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (*)

SPRINGER, E. P., B. J. McGurk, R. H. Hawkins e G. B. Coltharp, 1980, "Curve number for watershed data". *Proceedings, Symposium on Watershed Management*. ASCE, Boise, Idaho, p. 938-950. (*)

VISSMAN, W. e LEWIS, G. L, 1996, *Introduction to hydrology*. 4th edition. HarperCollins College Publishers. Nova Iorque.

(*) Referência não consultada directamente.