HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

Fenómenos hidrológicos extremos

- Cheias em rios –

Conceitos gerais

Tempo de concentração

CHEIAS EM RIOS

À escala da Terra, as **cheias** são o **perigo natural que maior fração da população afeta**. Atingem as áreas localizadas nas proximidades da rede hidrográfica, da linha de costa, ou de diques e de barragens. Segundo a **Organização Meteorológica Mundial, os desastres provocados por cheias têm vindo a aumentar,** como consequência da expansão urbana em planícies aluviais.

Podem identificar-se diferentes circunstâncias de formação e ocorrência de cheias: as **cheias fluviais progressivas**, as **cheias repentinas** (*flash floods*), incluindo torrentes de lama, as junto da costa associadas a **tempestades** (*storm surges*), o **colapso de diques ou barragens**, ...

Conceito de cheia … embora de utilização generalizada, não tem definição precisa…

… Intumescência gradual e progressiva da superfície livre do curso de água a que correspondem alturas máximas de escoamento excecionais e que se propagam para jusante. A noção de cheia está associada à ocorrência de elevados níveis de água em rios e, portanto, de elevados caudais.

Do ponto de vista hidrológico, verifica-se a ocorrência de uma cheia quando a bacia hidrográfica é sujeita a uma alimentação de água de tal forma intensa e prolongada que o caudal que daí advêm e que aflui à rede hidrográfica excede a capacidade normal de transporte ao longo desta rede, extravasando-a e alagando os campos marginais.

SUPLEMENTO Diario de Noticias AS 17 HORAS: 3.ª TIRAGEM
N.º 36 541
DILÚVIO DE CATÁSTROFE
EXCEDEU AS PREVISÕES MAIS PESSIMISTAS A EXTENSÃO E GRAVIDADE DO DESASTRE
ATÉ ÀS 11.45 176 MORTOS
O LUTO E A DOR ATINGIRAM CENTENAS DE LARES E NUM RAIO DE MUITOS QUILÓM... EM REDOR DE LISBOA FICARAM MARC... M DE UM AUTÊN...
NOITE DE PAVOR E DE MORTE PERSISTE A ANGÚSTIA EM ODIVELAS
Aldeia-mártir: QUINTAS
DITENTA MORTOS!
O MINISTRO DO INTERIOR AO "DIÁRIO DE NOTÍCIAS":
A TRAGÉDIA I... SUMIU PROPORÇÕES CA... TRÓFICAS
CERCA DE 250 MORTOS
E DEZENAS DE DESAPARECIDOS
AS TRÁGICAS INUNDAÇÕES:
AUMENTOU PARA 427 O NÚMERO DE MORTOS
O MINISTERIO DAS FINANÇAS VAI ABRIR CRÉDITOS ESPECIAIS E A CAIXA GERAL DE DEPÓSITOS FACILITARA EMPRÉSTIMOS ÀS CÂMARAS

Região de Lisboa, 1967
(segundo maior acidente natural, depois do terramoto de 1755)

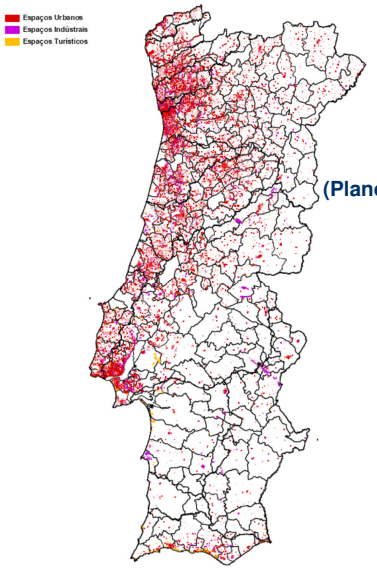
A catástrofe abate-se sobre
s concelhos de Cascais e Oeiras
A vila de Cascais (sobretudo a parte baixa) ficou irreconhecível
Mortes a lamentar
Milhares de contos de prejuízos
COMO OCORREU A TRAGÉDIA
As devastações provocadas pela enxurrada na muralha junto à Praia dos Pescadores
A entrada da Av. Valbom
No Largo Luís de Camões
(Continua na pág. 3)

ASPECTO DA TRAGÉDIA QUE ATINGIU CASCAIS
Rua Visconde da Luz

O acesso à nossa redacção ficou vedado, pelo lençol de

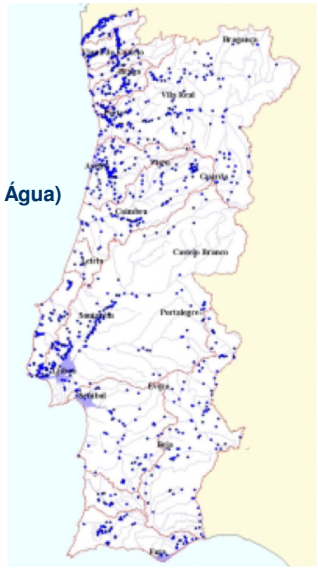
SANTOS, M. J.; SANTOS, E. G.; PORTELA, M. M., 2003, "Cheias repentinas. Mitigação de impactes", *6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (6º SILUSBA)*, Vol. 1, pp. 221-237, Cabo Verde.

Madeira, Fevereiro 2010



(Plano Nacional da Água)

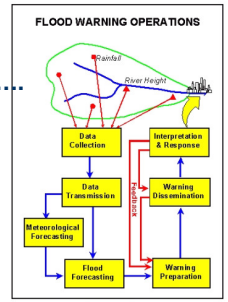
Áreas urbanas e urbanizáveis, áreas industriais e turísticas

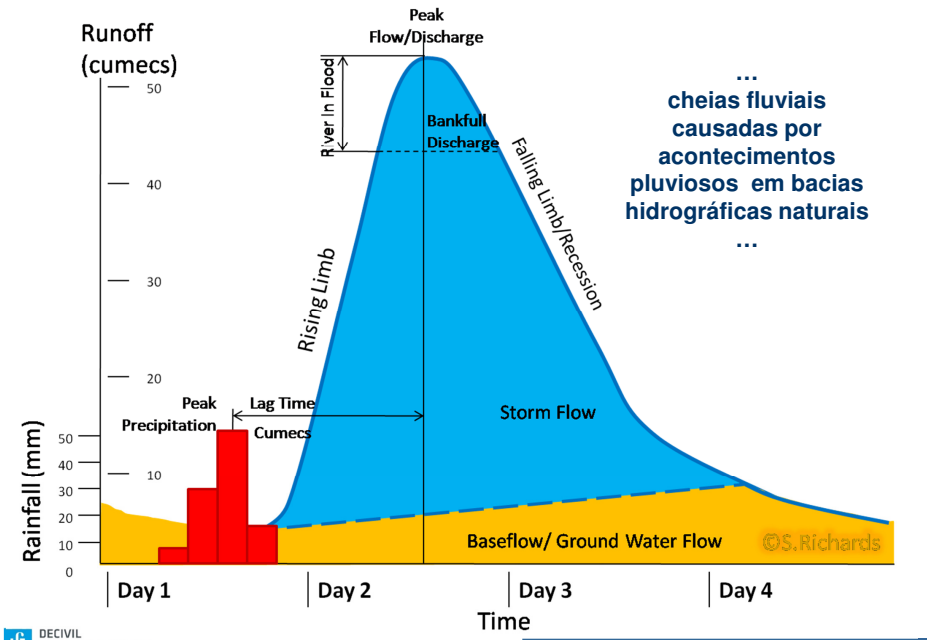


Zonas de ocorrência de cheia

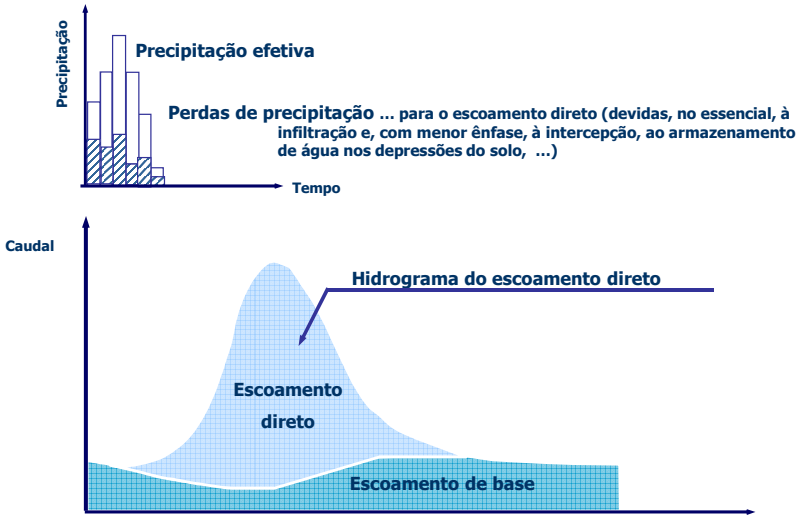
INTERESSE

- Dimensionamento hidráulico dos órgãos de segurança de barragens (descarregadores de cheias), de pontes, de aquedutos, de estruturas de drenagem …
- Planeamento e projeto de obras de defesa contra cheias (leitos de cheia, diques marginais …)
- Delimitação de zonas inundáveis (instrumento de ordenamento do território)
- Operação de sistemas de aviso e proteção contra cheias ….



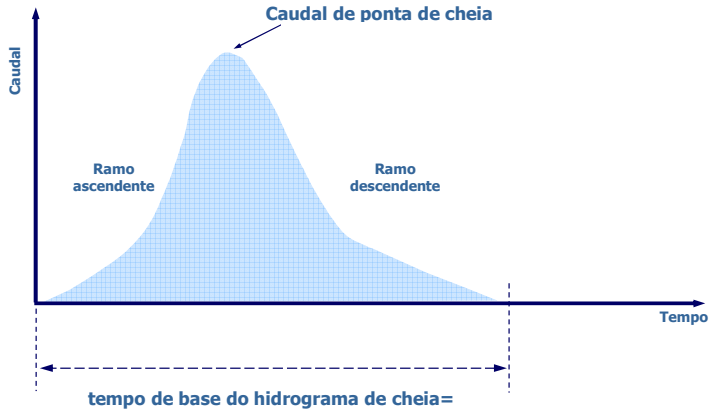


…
cheias fluviais causadas por acontecimentos pluviosos em bacias hidrográficas naturais
…

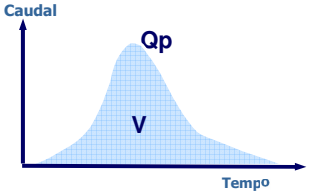


O volume da precipitação efetiva é igual ao volume do escoamento direto do hidrograma de cheia originado por essa precipitação

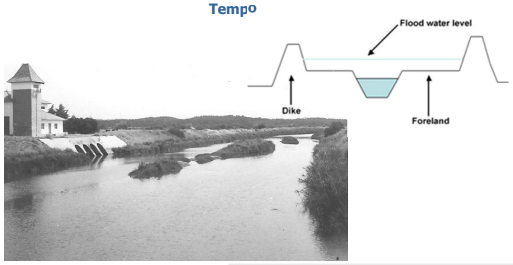
Hidrograma do escoamento direto



tempo de base do hidrograma de cheia= = duração da cheia

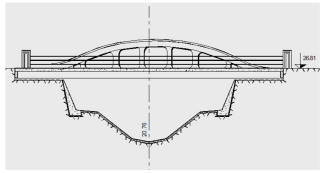


Consoante o problema em estudo pode ser suficiente estimar o caudal máximo de cheia – **caudal de ponta de cheia, Qp** – ou ser necessário conhecer a evolução do caudal ao longo da duração da cheia – **hidrograma de cheia**



… **caudal e ponta de cheia e hidrograma de cheia** … controlo de cheias em albufeiras ….

… **caudal de ponta de cheia** … diques de defesa marginal … posicionamento de tabuleiro de pontes



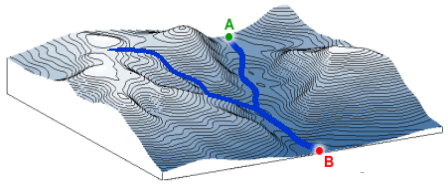
Fatores que influenciam os hidrogramas de cheias:

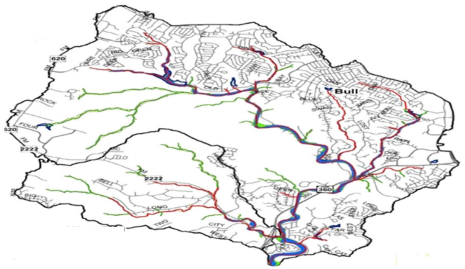
- **Área, forma e relevo da bacia hidrográfica e as caraterísticas da rede hidrográfica ⟺ fatores que fundamentalmente condicionam o tempo de concentração.**
- **Caraterísticas e estado do solo, cobertura vegetal, condições de armazenamento de água na bacia hidrográfica no início da precipitação ⟺ fatores que fundamentalmente condicionam as perdas de precipitação.**
- **Distribuição temporal e espacial da precipitação ⟺ fatores que condicionam diretamente o hidrograma de cheia.**

Tempo de concentração

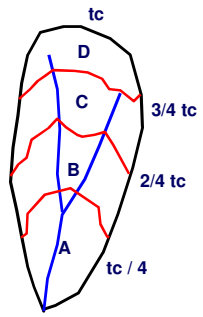
Tempo que a gota de água precipitada no ponto da bacia hidrográfica cinematicamente mais afastado da secção de referência demora a atingir tal secção.

Com base no tempo de concentração … <u>análise da influência da duração da precipitação efetiva no hidrograma de cheia</u>

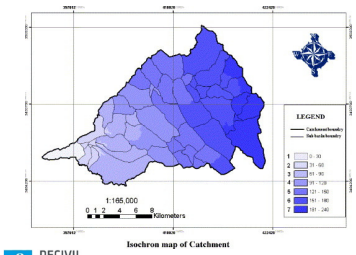




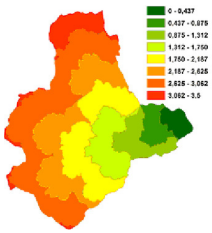
Bacia hidrográfica dividida em quatro zonas delimitadas pelas isócronas (lugar geométrico dos pontos a que correspondem iguais tempos de percurso das partículas de águas aí precipitadas e a secção de referência da bacia hidrográfica) **de tc/4, 2tc/4, 3tc/4.**

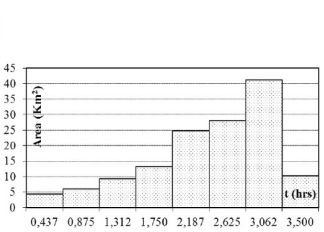


$A_A=A_B=A_C=A_D=A_0$

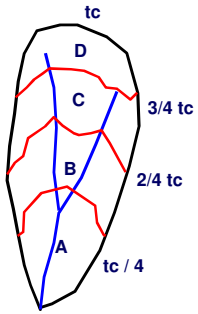


Isochron map of Catchment





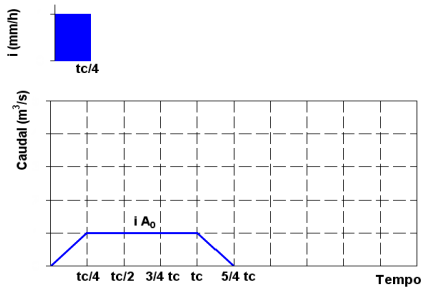
Bacia hidrográfica dividida em quatro zonas delimitadas pelas isócronas (lugar geométrico dos pontos a que correspondem iguais tempos de percurso das partículas de águas aí precipitadas e a secção de referência da bacia hidrográfica) **de tc/4, 2tc/4, 3tc/4.**

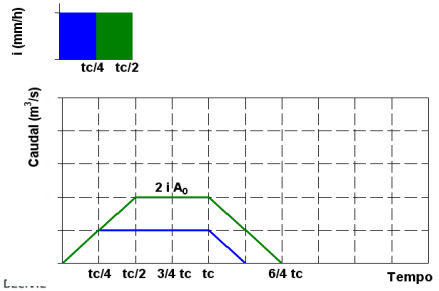


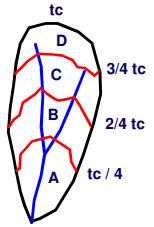
$A_A=A_B=A_C=A_D=A_0$

Hipóteses simplificativas: retenção superficial e infiltração nulas (toda a precipitação é efetiva) o escoamento no curso de água inicia-se e cessa em simultâneo com o escoamento à superfície do terreno:

no instante t ⟺ Q(t) = i A(t).

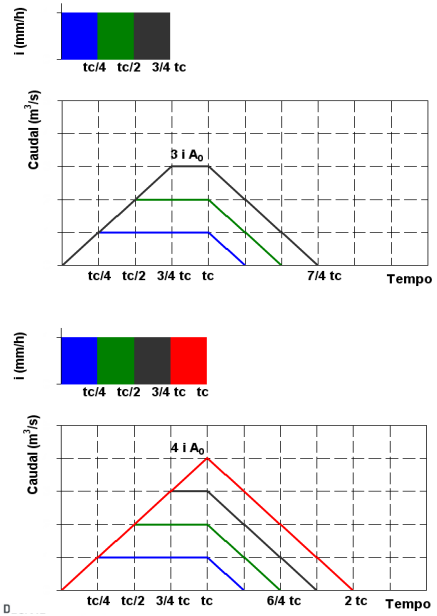


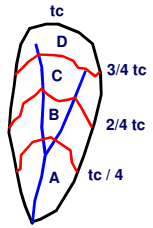




$A_A=A_B=A_C=A_D=A_0$

… aumento da área total das zonas que contribuem para o caudal chegado à secção de jusante …

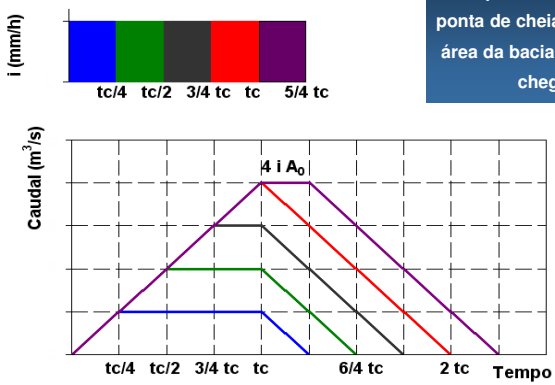


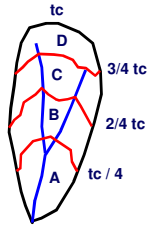


$A_A=A_B=A_C=A_D=A_0$

… aumento da área total das zonas que contribuem para o caudal chegado à secção de jusante …

… para durações superiores a tc o caudal de ponta de cheia permanece constante pois já toda a área da bacia hidrográfica contribui para o caudal chegado à secção de jusante …





…. <u>para as hipóteses simplificativas formuladas</u> …. **O caudal de ponta de cheia, Qp, aumenta** (<u>devido ao aumento da área que contribui simultaneamente para o escoamento na secção terminal</u>) **até que a duração da precipitação efetiva seja igual ao tempo de concentração, tc, permanecendo constante para durações da precipitação efetiva superiores**

… para período de retorno, T, fixo atendendo à variação da precipitação efetiva e da correspondente intensidade com a duração (linha de possibilidade udométrica $P = a\ t^n$)

a)	$t_1 < t_c$	$t_2 = t_c$	$t_3 > t_c$
b)	$i_1 > i_2$	i_2	$i_3 < i_2$
c)	$A_1 < A_t$	$A_2 = A_t$	$A_3 = A_t$
d)	$i_1 A_1$??	$i_2 A_t$ >	$i_3 A_t$

Cheias em rios: análise da influência da duração da precipitação efetiva no hidrograma de cheia

… para período de retorno, T, fixo atendendo à variação da precipitação efetiva e da correspondente intensidade com a duração (linha de possibilidade udométrica $P = a\ t^n$)

a)	$t_1 < t_c$	$t_2 = t_c$	$t_3 > t_c$
b)	$i_1 > i_2$	i_2	$i_3 < i_2$
c)	$A_1 < A_t$	$A_2 = A_t$	$A_3 = A_t$
d)	$i_1 A_1$??	$i_2 A_t$ >	$i_3 A_t$

Atendendo a que $P = a\ t^n$, ou seja, $i = a\ t^{(n-1)}$ e admitindo que a área da bacia hidrográfica que contribui para o escoamento no instante t_1 é proporcional a esse instante, ou seja, $A_1 = t_1 / t_c\ A_t$, logo $i_1 A_1 = a\ A_t / t_c\ t_1^n$, o que indica que o caudal de ponta de cheia $i_1 A_1$ aumenta com t_1 até atingir o valor máximo para $t_1 = t_c$, diminuindo para durações da precipitação superiores.

Cheias em rios: análise da influência da duração da precipitação efetiva no hidrograma de cheia

… para período de retorno, T, fixo atendendo à variação da precipitação efetiva e da correspondente intensidade com a duração (linha de possibilidade udométrica $P = a\ t^n$)

a)	$t_1 < t_c$	$t_2 = t_c$	$t_3 > t_c$
b)	$i_1 > i_2$	i_2	$i_3 < i_2$
c)	$A_1 < A_t$	$A_2 = A_t$	$A_3 = A_t$
d)	$i_1 A_1$??	$i_2 A_t$ >	$i_3 A_t$

Atendendo a que $P = a\ t^n$, ou seja, $i = a\ t^{(n-1)}$ e admitindo que a área da bacia hidrográfica que contribui para o escoamento no instante t_1 é proporcional a esse instante, ou seja, $A_1 = t_1 / t_c\ A_t$, logo $i_1 A_1 = a\ A_t / t_c\ t_1^n$, o que indica que o caudal de ponta de cheia $i_1 A_1$ aumenta com t_1 até atingir o valor máximo para $t_1 = t_c$, diminuindo para durações da precipitação superiores.

d)	$i_1 A_1$ <	$i_2 A_t$ >	$i_3 A_t$

Cheias em rios: análise da influência da duração da precipitação efetiva no hidrograma de cheia

✓ **… para um dado período de retorno, T, o caudal de ponta de cheia aumenta com o aumento da duração da precipitação efetiva com esse período de retorno (por aumento da área que contribui em simultâneo para o escoamento na secção terminal) até atingir o valor máximo para a duração igual ao tempo de concentração … duração crítica da precipitação e precipitação crítica.**

… E SE NÃO SE CONSIDERAREM AS HIPÓTESES SIMPLIFICATIVAS ANTES ENUNCIADAS (P com intensidade constante independentemente da duração) **….**

✓ **Para durações da precipitação superiores à crítica, o caudal de ponta de cheia diminui devido à diminuição da intensidade média da precipitação.**

DECIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E GEORRECURSOS
TÉCNICO LISBOA

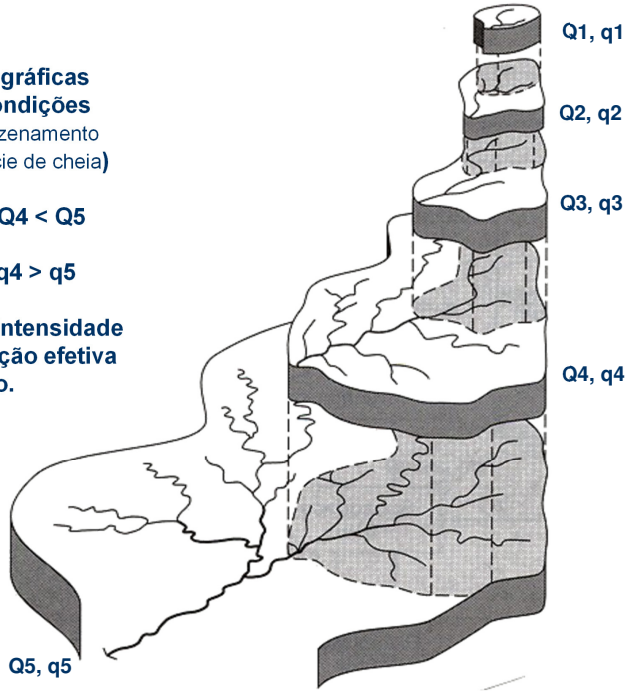
- ✓ **Em condições normais e não obstante o caudal de ponta de cheia máximo aumentar para jusante** (por aumento da área da bacia hidrográfica), o correspondente **caudal específico de ponta de cheia** (caudal de ponta de cheia máximo por unidade de área), **diminui para jusante** devido ao **aumento da duração da precipitação efetiva crítica** (pois tal duração é igual ao tempo de concentração que aumenta para jusante), com **diminuição da respetiva intensidade média.**

Em bacias hidrográficas naturais e em condições normais (ex. armazenamento desprezável na planície de cheia)

Q1 < Q2 < Q3 < Q4 < Q5

q1 > q2 > q3 > q4 > q5

por diminuição da intensidade média da precipitação efetiva de projeto.



Cheias repentinas (*flash floods)* em pequenas bacias hidrográficas (tc<6h, WMO)

Caudal específico centenário em pequenas bacias na região de Lisboa

A (km^2)	q100 ($m^3s^{-1}km^{-2}$)
10	9
100	4

(Tempo que a gota de água precipitada no ponto da bacia hidrográfica cinematicamente mais afastado da secção de referência demora a atingir tal secção).

Giandotti: $tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{hm}}$

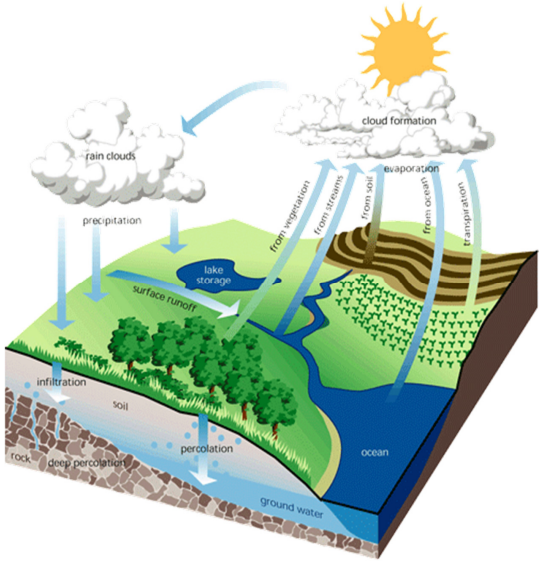
Kirpich: $tc = 0.95\frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$

Temez: $tc = 0.3\left(\frac{L}{dm^{0.25}}\right)^{0.76}$

NERC: $tc = 2.8\left(\frac{L}{\sqrt{d10:85}}\right)^{0.47}$

t_c	Tempo de concentração (h)
A	Área da bacia hidrográfica (km^2)
L	Comprimento do curso de água principal (km)
hm	Altura média da bacia hidrográfica (m)
H	Diferença de cotas do talvegue do curso de água principal (m)
dm	Declive do curso de água principal (-)
d10:85	declive médio do trecho entre secções às distâncias da secção de referência iguais a 10 e 85% do comprimento total do curso de água principal (m/km).

EXERCÍCIO 18



18 **Em determinada obra dimensionaram-se os órgãos de descarga para um caudal máximo anual de 1280 $m^3 s^{-1}$. Na secção onde a obra foi implantada a série dos caudais máximos anuais apresenta uma média e um desvio-padrão de 500 $m^3 s^{-1}$ e 250 $m^3 s^{-1}$, respetivamente. Nessas condições e admitindo a aplicabilidade da lei de Gumbel, determine:**

a) a probabilidade do caudal de dimensionamento não ser excedido em qualquer ano;

b) a probabilidade do caudal de dimensionamento ser excedido em pelo menos um dos quarenta anos que se sigam à conclusão da obra.

(R: 0.9898; 0.3371).

$$K_G = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left\{0.577216 + \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]\right\} = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left\{0.577216 + \ln\left[\ln\left(\frac{1}{F}\right)\right]\right\}$$

RISCO HIDROLÓGICO, R: Probabilidade de um acontecimento com dado período de retorno, T, ser excedido num período de N anos

- Probabilidade de nunca ser excedido em N anos: $(1-1/T)^N$
- Probabilidade de ser excedido (uma, duas, … n vezes) em N anos: $R = 1-(1-1/T)^N$