

HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

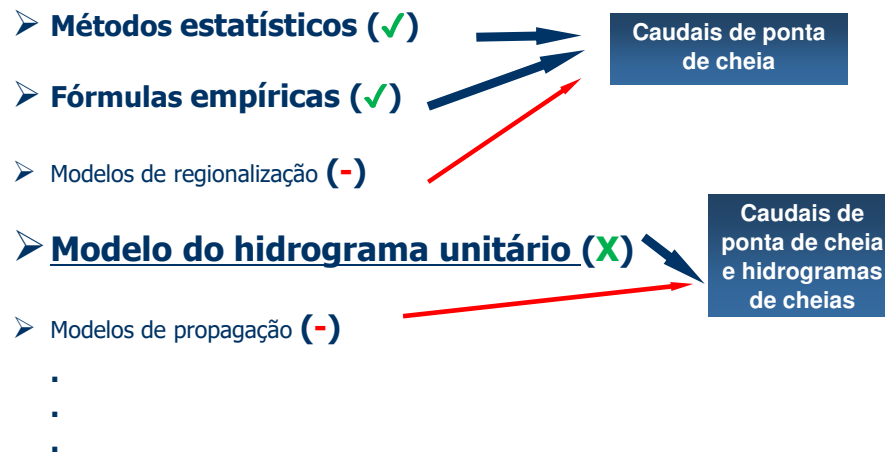


Fenómenos hidrológicos extremos

- Cheias em rios -

Cálculo de caudais de ponta de cheia
Métodos estatísticos e fórmulas empíricas

Métodos de avaliação de caudais e de hidrogramas de cheia



Aspetos de que deve resultar a opção pelo modelo a aplicar à análise de cheias

Perceção clara das condições/restrições inerentes ao cálculo de uma cheia

- **Objetivo em vista:** caudal de cheia e/ou nível de cheia e/ou volume da cheia.
- **Bacia hidrográfica em condições naturais ou não** (... existência de uma albufeira de regularização).
- **Área da bacia hidrográfica objeto de análise de cheias** (grandes bacias implicam maiores aproximações, por exemplo, caso se preveja aplicar um modelo de transformação da precipitação em escoamento em condições de cheia).
- **informação de base disponível, necessariamente hidrológica, mas pretendendo-se níveis/alturas de água, muito pertinentemente topográfica.**

Opção por um modelo de cálculo adequado

ESTIMAÇÃO DE CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA, Q_p

Um caudal de ponta de cheia, Q , representa uma “condição” de projeto (quer esse projeto diga respeito à delimitação de uma zona inundável, quer tenha em vista o dimensionamento de uma obra hidráulica de grande envergadura) sendo muito mais frequentemente definido para um dado critério de projeto expresso pela probabilidade de não-excedência, F , que corresponde a esse caudal:

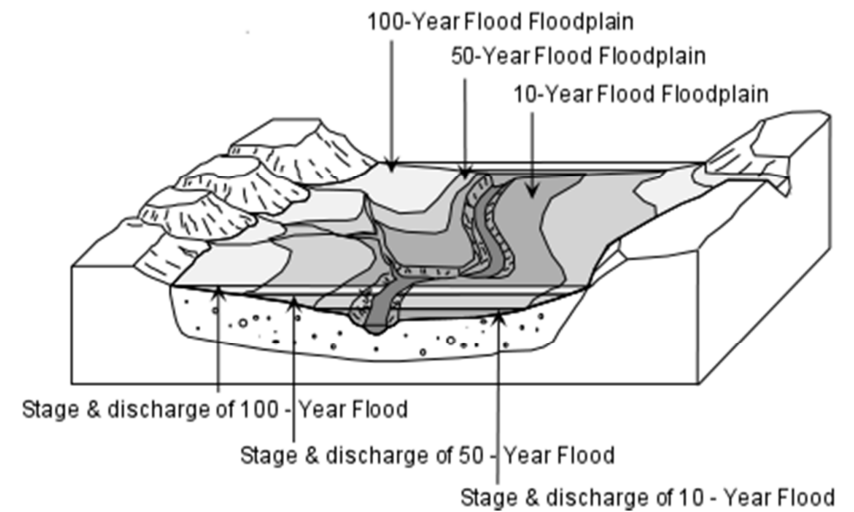
$$P(X \leq Q) = F(Q) = F$$

(Probabilidade de não-excedência = probabilidade de ocorrerem valores da variável aleatória inferiores ou iguais a um dado valor de projeto)

.... probabilidade de não-excedência

PERÍODO DE RETORNO

PERÍODO DE RETORNO

Reproduzida de DINGMAN, S. L., *Physical hydrology*, Prentice-Hall, Inc., 1994PERÍODO DE RETORNO: $T = 1 / (1-F)$ 

Cheias em rios – estimação de caudais de ponta de cheia

MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A REGISTOS DE CAUDAIS INSTANTÂNEOS MÁXIMOS ANUAIS, Q_{ima}


Amostras de Q_{ima} : um caudal por ano, o máximo caudal instantâneo nesse ano ... variável intrinsecamente aleatória

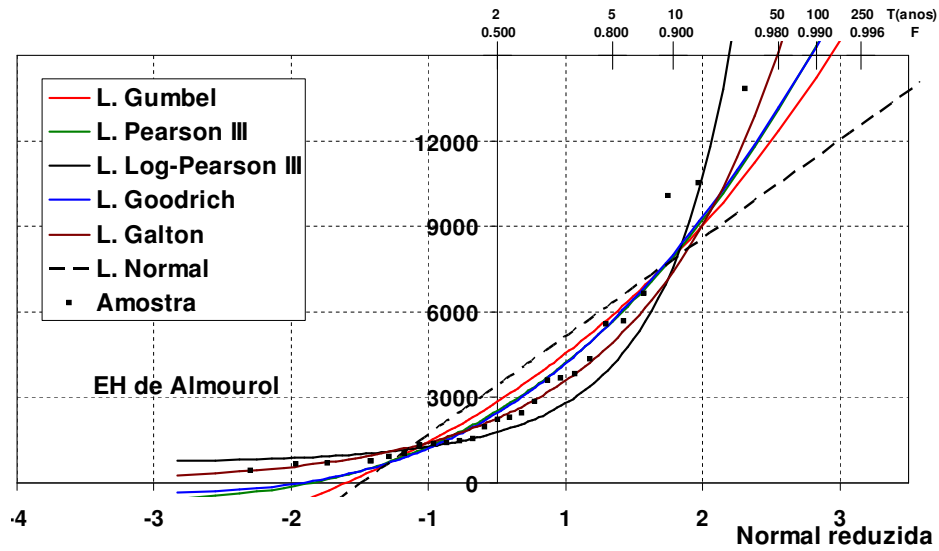
Aplicação dos procedimentos de análise estatística antes descritos no âmbito da análise de precipitações intensas, embora aplicados à série de caudais instantâneos máximos anuais, Q_{ima} , adotando também uma lei de extremos (Gumbel, Pearson III, Goodrich, ...).

Cheias em rios – estimação de caudais de ponta de cheia

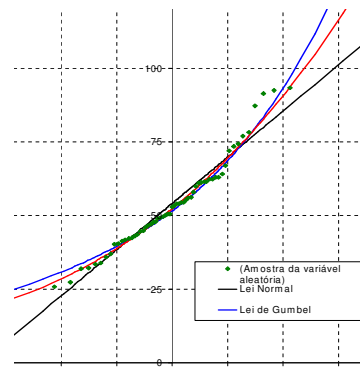
MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS A REGISTOS DE CAUDAIS INSTANTÂNEOS MÁXIMOS ANUAIS, Q_{ima} (cont.)

- ✓ CONSTITUIÇÃO DA AMOSTRA DE CAUDAIS INSTANTÂNEOS MÁXIMOS ANUAIS
- ✓ CÁLCULO DAS ESTATÍSTICAS AMOSTRAIS (média, desvio-padrão, assimetria).
- ✓ SELEÇÃO DE FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES E ESTIMATIVA DOS RESPECTIVOS PARÂMETROS A PARTIR DA AMOSTRA (lei de extremos ... log-normal ou de Galton; Gumbel ($Ca = 1,14$); Pearson III, Goodrich, ...)
- ✓ SELEÇÃO DA LEI COM MELHOR AJUSTE.
- ✓ DE ACORDO COM ESSA LEI, ESTIMATIVA DO VALOR DE Q_{ima} PARA O PERÍODO DE RETORNO, T , PRETENDIDO.

Caudal instantâneo máximo anual, Qima (m³/s)

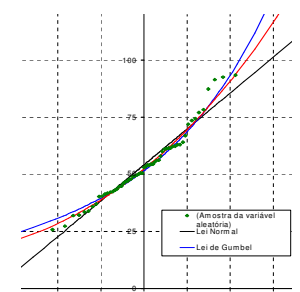


Data	MONTE DOS FORTES (29L 01H) Caudal instantâneo máximo anual (m ³ /s)
17/01/1962 00:00	194.70
17/01/1963 00:00	358.97
16/01/1964 00:00	214.56
29/01/1965 00:00	2.06
15/02/1966 00:00	134.41
15/02/1967 00:00	18.52
19/11/1967 00:00	123.68
09/01/1969 00:00	599.14
07/01/1970 00:00	153.45
21/01/1971 00:00	47.08
05/02/1972 00:00	163.51
20/10/1972 00:00	113.45
25/03/1974 00:00	60.05
08/02/1975 00:00	26.39
03/02/1976 00:00	41.27
15/12/1976 00:00	336.23
07/12/1977 00:00	242.85
02/02/1979 00:00	(vd) 191.51
21/03/1980 00:00	(vd) 47.08
08/11/1980 00:00	3.58
28/12/1981 00:00	(vd) 223.17
18/02/1983 00:00	(vd) 116.80
20/12/1983 00:00	(vd) 231.99
21/01/1985 00:00	(vd) 194.70



CAUDAIS INSTANTÂNEOS MÁXIMOS ANUAIS, Qima, disponíveis em estações hidrométricas, através do SNIRH

Data	MONTE DOS FORTES (29L 01H) Caudal instantâneo máximo anual (m ³ /s)
17/01/1962 00:00	194.70
17/01/1963 00:00	358.97
16/01/1964 00:00	214.56
29/01/1965 00:00	2.06
15/02/1966 00:00	134.41
15/02/1967 00:00	18.52
19/11/1967 00:00	123.68
09/01/1969 00:00	599.14
07/01/1970 00:00	153.45
21/01/1971 00:00	47.08
05/02/1972 00:00	163.51
20/10/1972 00:00	113.45
25/03/1974 00:00	60.05
08/02/1975 00:00	26.39
03/02/1976 00:00	41.27
15/12/1976 00:00	336.23
07/12/1977 00:00	242.85
02/02/1979 00:00	(vd) 191.51
21/03/1980 00:00	(vd) 47.08
08/11/1980 00:00	3.58
28/12/1981 00:00	(vd) 223.17
18/02/1983 00:00	(vd) 116.80
20/12/1983 00:00	(vd) 231.99
21/01/1985 00:00	(vd) 194.70



CAUDAIS INSTANTÂNEOS MÁXIMOS ANUAIS, Qima, disponíveis em estações hidrométricas, através do SNIRH

(... a análise estatística fornece estimativas para a estação hidrométrica ... como passar para a bacia hidrográfica?)

FÓRMULAS EMPÍRICAS NÃO CINEMÁTICAS E CINEMÁTICAS

consoante **NÃO FAZEM INTERVIR** ou **FAZEM INTERVIR** (explícita ou implicitamente) o tempo de concentração da bacia hidrográfica

FÓRMULA EMPÍRICA NÃO CINEMÁTICA: (não especifica o período de retorno, fornecendo valores médios – fórmula de Myer – ou extremos):

Fórmula de Myer $Q = c A^\alpha$

Q caudal de ponta de cheia (m³/s)

A área da bacia hidrográfica (km²)

C coeficiente que depende das características da bacia hidrográfica

FÓRMULA EMPÍRICA NÃO CINEMÁTICA (cont.): Fórmula de Myer $Q = c A^\alpha$

A fórmula de Meyer é particularmente útil para **transpor caudais de ponta de cheia entre bacias hidrográficas** para o que basta aplicar a seguinte equação, estabelecida a partir daquela fórmula de Myer:

$$\frac{Q1}{Q2} = \left(\frac{A1}{A2} \right)^\alpha$$

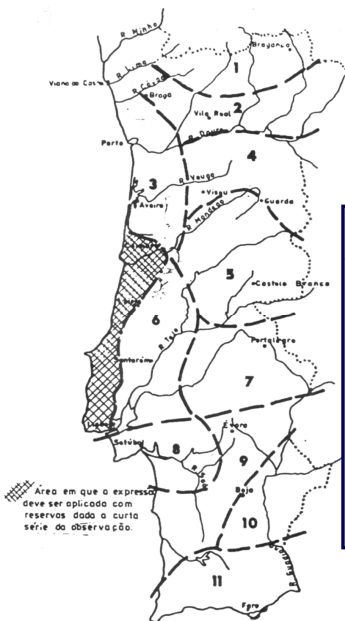
em que A1 e a área de uma das bacias hidrográficas e Q1 o correspondente caudal de ponta de cheia e A2 e Q2 são os valores equivalentes para a outra bacia hidrográfica.

Q2 pode ser o resultado, por exemplo, da análise estatística de uma série de Qima e, neste caso, tanto Q2, como Q1 têm um período de retorno associado.

O expoente α tem um valor geralmente compreendido entre 0.4 e 0.8 (pode ser aproximado pelo expoente fornecido por LOUREIRO, J. M., 1984. “Expressão para o Cálculo do Caudal de Cheia em Cursos de Água de Portugal”, *Recursos Hídricos*, 5(1), pp. 53-78).

LOUREIRO, J. M., 1984. Expressão para o Cálculo do Caudal de Cheia em Cursos de Água de Portugal, *Recursos Hídricos*, 5(1), pp. 53-78.

$$Q_p = C A^Z$$



Zonas	Valor de Z	Valor de C para diferentes períodos de retorno - anos						
		5	10	25	50	100	500	1000
1	0.807	2.85	3.72	4.53	5.27	6.10	7.54	8.57
2	0.694	5.44	6.97	8.58	9.67	10.98	13.91	15.63
3	0.510	24.93	30.50	39.14	43.49	49.50	57.05	64.83
4	0.489	11.68	16.79	19.19	22.31	26.20	33.13	38.52
5	0.375	31.30	40.07	50.22	58.07	66.89	80.51	94.38
6	0.466	19.17	26.26	34.69	42.22	48.27	66.24	72.29
7	0.761	3.66	4.49	5.58	6.02	8.45	9.60	11.03
8	0.816	1.66	2.09	2.58	2.98	3.37	4.27	4.75
9	0.738	3.39	4.28	5.54	6.44	7.40	9.50	10.68
10	0.745	2.38	3.06	3.68	4.12	4.94	6.23	7.72
11	0.784	3.45	4.40	5.40	6.24	7.09	8.97	9.88

FÓRMULAS EMPÍRICAS NÃO CINEMÁTICAS: Myer $Q = c A^\alpha$

FÓRMULA EMPÍRICA CINEMÁTICA: : fazem intervir, explícita ou implicitamente, o tempo de concentração:

Fórmula racional $Q = C i A$ (fórmula homogénea)

Q caudal de ponta de cheia com o período de retorno de T anos (m³/s)

C coeficiente que fundamentalmente atende às perdas de precipitação (... tipo e uso do solo e do período de retorno ...para T=100 anos, C aprox. 0.8) ... **PORQUE DEPENDE DE T???**

i intensidade média da precipitação (total) com duração igual ao tempo de concentração e com o período de retorno, T (m/s)

A área da bacia hidrográfica (m²)

O período de retorno “entra” através da precipitação de projeto

FÓRMULAS EMPÍRICAS NÃO CINEMÁTICAS: Myer $Q = c A^\alpha$

FÓRMULA EMPÍRICA CINEMÁTICA: fazem intervir, explícita ou implicitamente, o tempo de concentração:

Fórmula racional $Q = C i A$ (fórmula homogénea)

... a precipitação de projeto é descrita pela respetiva intensidade média ($i=P/t$), aproximação que é tanto mais incorreta quanto maior for a duração crítica da precipitação, ou seja, quanto maior for o tempo de concentração ... (do que resulta que em pequenas bacias hidrográficas o erro decorrente da descrição da precipitação pela sua intensidade média é menor).

O facto de, mais provavelmente, a intensidade da precipitação não ser constante conduz a maiores caudais de ponta de cheia.

Para atender à variabilidade temporal da precipitação **fórmula racional com fator de majoração.**



FÓRMULAS EMPÍRICAS NÃO CINEMÁTICAS: Myer $Q = c A^\alpha$

FÓRMULA EMPÍRICA CINEMÁTICA: fazem intervir, explícita ou implicitamente, o tempo de concentração:

Fórmula racional $Q = C i A$ (fórmula homogénea)

Fórmula racional com fator de majoração

$Q = f C i A = (2 - \sqrt{n}) C i A$

Atende ao acréscimo do caudal de ponta de cheia que resulta do facto de a precipitação não ser constante ao longo do tempo (HIPÓLITO, J. R.; SANTOS, E. G.; PORTELA, M. M., 2006, "Contribuição para o estabelecimento de um factor de majoração para a fórmula racional". *Recursos Hídricos*, 27(2), pp. 47-53. Número Temático: Hidrologia e Modelação Hidrológica, Lisboa).

f é o fator de majoração, sendo **n** o expoente da linha de possibilidade udométrica



FÓRMULAS EMPÍRICAS NÃO CINEMÁTICAS E CINEMÁTICAS

FÓRMULA EMPÍRICA NÃO CINEMÁTICA: Fórmula de Myer $Q = c A^\alpha$

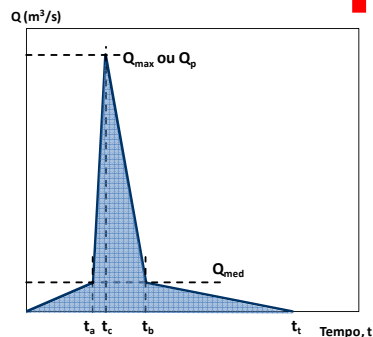
FÓRMULA EMPÍRICA CINEMÁTICA

FÓRMULA RACIONAL SEM E COM FATOR DE MAJORAÇÃO: $Q = C i A$ $Q = f C i A$

FÓRMULA DE TURAZZA-GIANDOTTI

$Q_{med} = \frac{\psi P A}{\theta}$ $\begin{cases} \theta = \gamma t_c \\ Q_{max} = \rho Q_{med} \end{cases}$ $t_a = (1 - \frac{1}{\rho}) t_c$ $t_b = (\frac{\gamma - 1}{\rho} + 1) t_c$

$Q_{max} = \frac{\rho \psi P A}{\gamma t_c}$



- Q_{med} caudal médio durante a cheia
- $Q_{max} = Q_p$ caudal de ponta de cheia
- P precipitação total com duração igual ao tempo de concentração, t_c , e período de retorno de T anos.
- A área da bacia hidrográfica
- ρ quociente entre o caudal de ponta de cheia e o caudal médio durante a cheia
- γ quociente entre a duração total da cheia e t_c
- ψ coeficiente de escoamento (adimensional)
- θ duração total da cheia

FÓRMULAS EMPÍRICAS NÃO CINEMÁTICAS E CINEMÁTICAS

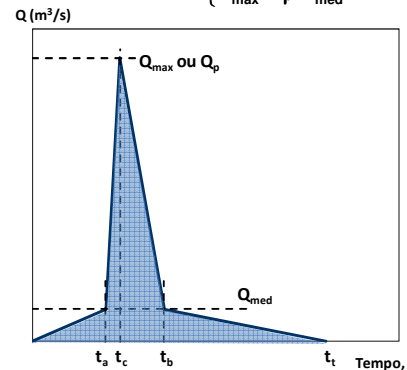
FÓRMULA EMPÍRICA NÃO CINEMÁTICA: Fórmula de Myer $Q = c A^\alpha$

FÓRMULA EMPÍRICA CINEMÁTICA

FÓRMULA RACIONAL SEM E COM FATOR DE MAJORAÇÃO: $Q = C i A$ $Q = f C i A$

FÓRMULA DE TURAZZA-GIANDOTTI

$Q_{med} = \frac{\psi P A}{\theta}$ $\begin{cases} \theta = \gamma t_c \\ Q_{max} = \rho Q_{med} \end{cases}$ $t_a = (1 - \frac{1}{\rho}) t_c$ $t_b = (\frac{\gamma - 1}{\rho} + 1) t_c$ $Q_{max} = \frac{\rho \psi P A}{\gamma t_c}$



A (km²)	ρ (-)	γ (-)	ψ (-)
<300	10	4.0	0.50
300 - 500	8	4.0	0.50
500 - 1000	8	4.5	0.40
1000 - 8000	6	5.0	0.30
8000 - 20000	6	5.5	0.25
20000 - 70000	6	6.0	0.20

EXERCÍCIOS

