

LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL – HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

2º Exame – 4 de julho de 2024

Duração total de 2.0 h – cotação de 2.0 val. por pergunta; pode utilizar o verso de cada página para completar as respostas relativas apenas às perguntas dessa página

TEM DE JUSTIFICAR E APRESENTAR OS CÁLCULOS QUE EFETUAR E NÃO SOMENTE INDICAR O RESULTADO FINAL

1 Para o traçado do perfil longitudinal de um curso de água obtiveram-se os valores indicados na tabela ao lado.

Distancia à secção de referência	Cota
0 m	150
1200 m	160
2200 m	165
3100 m	190

- Determine os declives médio e equivalente do curso de água, expressando-os em percentagem.
- Indique uma vantagem da consideração do segundo dos anteriores declives, relativamente ao primeiro.

a)  $d_m = \frac{190 - 150}{3100} = 0,013 = 1,3\%$

Distancia (m)	Cota	Área Quilite Parcela
0	150	6000
1200	160	12500
2200	165	24750
3100	190	
		$\Sigma = 43250$

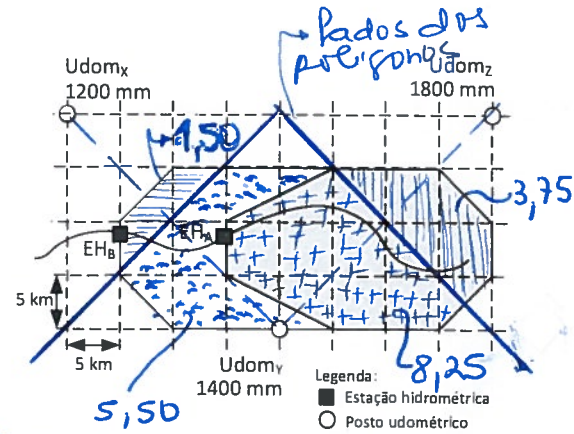
$\frac{\Delta \times 3100}{2} = 43250$

$\Delta = 27,94$

$d_{eq} = \frac{27,9}{3100} = 0,009 = 0,9\%$

b) capítulo 3 das folhas técnicas (Ac. Quintas, 1996, "Hidrologia e Recursos Hídricos") e grupo de slides das técnicas HRH-2

2 Considere as duas estações hidrométricas EHA e EHB representadas na figura à direita, instaladas no mesmo curso de água, com bacias hidrográficas com áreas de 300 km² e 475 km², respetivamente. Na figura está também assinalada a localização de três postos udométricos e as precipitações anuais médias aí registadas. Os módulos nas estações hidrométricas são QEHA = 7 m³/s e QEHB = 10 m³/s.



a) Aplique o método dos polígonos de Thiessen para determinar a precipitação anual média na bacia hidrográfica da estação hidrométrica EHA e na área de 175 km² intermédia entre as duas estações hidrométricas. No final do exame é fornecida outra figura que pode usar, caso necessite.

b) Determine a evapotranspiração real anual média nas duas áreas a que se refere a alínea a). Caso não tenha resolvido tal alínea, considere que a precipitação anual média nessas áreas é de 1500 mm.

a)  $E_{HA} \rightarrow \frac{3,75 \times 1800 + 8,25 \times 1400}{12} = 1525 \text{ mm}$

Área intermédia  $\rightarrow \frac{1,5 \times 1200 + 5,5 \times 1400}{7} = 1357 \text{ mm}$

b)  $P = H + E$   $H_{EHA} = \frac{7 \times 365 \times 24 \times 3600}{12 \times 5 \times 5 \times 10^6} \times 1000 = 735,8 \text{ mm}$

$H_{intermedia} = \frac{(10 - 7) \times 365 \times 24 \times 3600}{7 \times 5 \times 5 \times 10^6} \times 1000 = 540,6 \text{ mm}$

3 Numa dada bacia hidrográfica com a área de 250 km² os valores anuais médios da precipitação e da temperatura foram estimados em 750 mm e 12 °C, respetivamente. Poderia o caudal modular da bacia ser de 0.80 m³/s? Apresente os cálculos que justificam a sua resposta.

Fórmula de Turc para  $P = 750 \text{ mm}$  e  $t = 12^\circ\text{C}$   $D = E = 518,3 \text{ mm}$

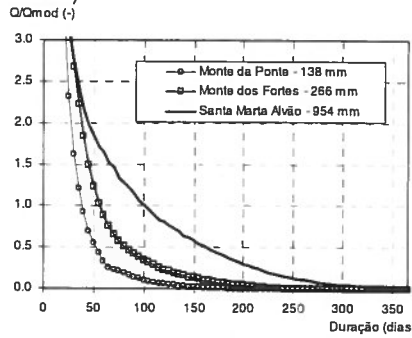
$H = P - D = 231,7 \text{ mm}$

$Q_{mod} = 1,84 \text{ m}^3/\text{s}$

Logo, o caudal modular não poderia ser 0,80 m³/s e portanto não a bacia não estaria em regime

4 A primeira tabela e a figura que se seguem contêm as curvas de duração média anual do caudal médio diário nas três bacias hidrográficas aí identificadas (curvas adimensionais).

Q/Qmod	Duração (dias)		
	Monte da Ponte	Monte dos Fortes	Santa Marta do Alvão
3.0	21	27	28
2.5	24	32	34
2.0	27	38	44
1.5	32	45	67
1.0	39	56	101
0.5	52	82	162
0.0	215	270	365
Escoamento anual médio (mm)	138	266	954



Passo 3		Passo 5
Duração (dias)	Q/Qmod	Q (m³/s)
21	3.0	4.756
24	2.5	3.964
27	2.0	3.171
32	1.5	2.378
39	1.0	1.585
52	0.5	0.793
215	0.0	0.000

A partir dos anteriores elementos, obtenha as curvas de duração anual média do caudal médio diário sem unidades e com unidades numa bacia hidrográfica com a área de 355 km² na qual o volume de escoamento anual médio é 50 x 10<sup>6</sup> m³. Para o efeito considere apenas os pontos indicados na tabela do lado esquerdo, completando tal tabela. Justifique os procedimentos utilizados e apresente todos os cálculos que efetuar.

Passo 1. Calcular o escoamento.  $M = \frac{50 \cdot 10^6}{355 \cdot 10^6} \cdot 1000 = 140.85 \text{ mm}$

n 2. Escolher a curva adimensional adequada.

Ver aula teórica 5. slide 46. → Monte da Ponte, porque os escoamentos são semelhantes (138 ≈ 140.85 mm)

n 3. Copiar durações.

n 4. Calcular Q<sub>mod</sub>:  $Q_{mod} = \frac{50 \cdot 10^6}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 1.585 \text{ m}^3/\text{s}$

n 5. Calcular Q:  $Q = Q_{mod} \times \frac{Q}{Q_{mod}}$

5 Das tabelas em baixo, a do lado esquerdo contém os valores da precipitação total numa dada bacia hidrográfica e a do lado direito, os caudais estimados correspondentes ao escoamento direto ocasionados por essa precipitação total. A área da bacia hidrográfica é de 82.8 km².

- Determine a taxa de média das perdas de precipitação durante o anterior acontecimento pluvioso expressa em mm/h.
- Tendo em conta o instante final da precipitação efetiva, determine o tempo de concentração da bacia hidrográfica admitindo que a anterior taxa permaneceu constante durante todo o evento de precipitação.

Hietograma	Tempo (h)	0.0 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	5.5								
P (mm)		10	15	5									
Hidrograma	Tempo (h)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
Q (m³/s)		0.0	13.2	20.5	48.0	63.8	99.0	74.8	37.4	32.0	13.2	2.2	0.0

a)  $P_{total} = 10 + 15 + 5 = 30 \text{ mm}$  ;  $V_{escoamento\ direto} = \sum Q \times \Delta t = 404.1 \times 0.5 \times 360 = 727.28 \text{ dam}^3$

$P_{efectiva} = \frac{727.28}{82.8} = 8.78 \text{ mm}$  ;  $Perdas = P_{total} - P_{ef.} = 30 - 8.78 = 21.22 \text{ mm}$

taxa perdas =  $\frac{21.22}{1.5} = 14.14 \text{ mm/hr}$  e  $7.07 \text{ mm}/30 \text{ min. (!)}$

b) Hietograma da precipitação efetiva →

tempo (h)	0.0 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5
Pef. (mm)	2.93	7.93	0 (!)

$t_c = 5.5 - 1.0 = 4.5 \text{ horas}$

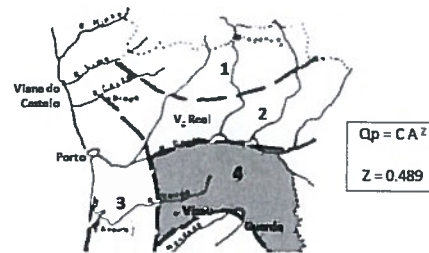
6 Explique clara e objetivamente por que razão a precipitação de projeto com dado período de retorno a considerar na análise de cheias deve ter duração igual a t<sub>c</sub>.

Assumindo a uniformidade da precipitação efetiva no tempo e no espaço, a duração da precipitação que leva ao caudal de ponta — ex — deve garantir que:

Aula 11 slide 26+ 1) toda a área da bacia contribui para o escoamento direto — a seção de referência ⇒  $d \geq t_c$

slide 37+ 2) a intensidade da precipitação é tão grande "quanto possível". De acordo com a L-1 de possibilidade vdo-étrica, a intensidade decresce com d. ⇒  $d_{critico} = t_c$

7 A bacia hidrográfica de uma dada estação hidrométrica com a área de 38 km<sup>2</sup> localiza-se na região 4 de entre as regiões propostas por LOUREIRO, J. M. (1984) "Expressão para o cálculo do caudal de cheia em cursos de água de Portugal", parcialmente representadas na figura. A expressão de cálculo estabelecida pelo anterior autor e o valor de z aplicável na região 4 estão indicados na figura. A média, o desvio-padrão e o coeficiente de assimetria da amostra de caudais instantâneos máximos anuais registada na estação hidrométrica foram estimados em 58 m<sup>3</sup>/s, 18 m<sup>3</sup>/s e 2.5, respetivamente.



- a) Para a estação hidrométrica, determine o caudal de ponta de cheia com o período de retorno de 1.25 anos. Considere a aplicação da lei de Pearson III.
- b) Aplique a fórmula de Myer para determinar o caudal de ponta de cheia com esse mesmo período de retorno numa bacia hidrográfica também situada na zona 4 e com a área de 75 km<sup>2</sup>

a)  $T = 1,25 \text{ anos} \Rightarrow F = 0,2 \quad \Phi(F) = -\Phi(1-F) = -0,843$

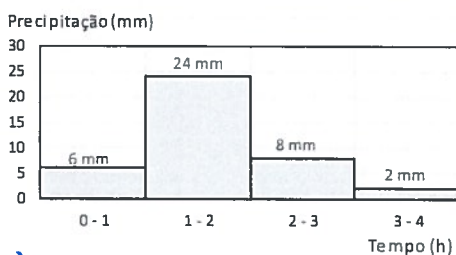
$K_p = -0,714$

$\hat{Q}_{EH} = \bar{Q}_{EH} + K_p \Delta'_{EH} = 45,15 \text{ m}^3/\text{s}$

b)  $\frac{\hat{Q}_{BH}}{\hat{Q}_{EH}} = \left(\frac{A_{BH}}{A_{EH}}\right)^{0,489} \Rightarrow \hat{Q}_{BH} = 45,15 \times \left(\frac{75}{38}\right)^{0,489}$   
 $\hat{Q}_{BH} = 62,96 \text{ m}^3/\text{s}$

8 Na figura que se segue apresenta-se o hietograma da precipitação total de um evento de precipitação extrema numa bacia hidrográfica de Portugal Continental cujo período de retorno foi estimado em 100 anos. A área da bacia hidrográfica é de 65 km<sup>2</sup>.

- a) Identifique, justificando, qual das curvas IDF incluídas na tabela se ajusta melhor ao regime da precipitação intensa naquela bacia.
- b) Sabendo que o tempo de concentração da bacia hidrográfica é de precisamente 4 h, estime o caudal de ponta da cheia centenária na bacia. Para o efeito, aplique a fórmula racional e considere que C=0.8.



Parâmetros da curva IDF para T=100 anos (com t expresso em min e i em mm/h)		
	Curva 1	Curva 2
Coefficiente	930	947
Expoente	-0.827	-0.762

a)  $P(4h) = 40 \text{ mm}$

Das curvas IDF para  $t = 4h$

Curva 1  $i = 10,0 \text{ mm/h}$   
 $P \approx 40,0 \text{ mm}$

Curva 2  $i \approx 14,5 \text{ mm/h}$   
 $P \approx 58,2 \text{ mm}$

R: Curva 1, uma vez que fornece um resultado próximo do observado

b)  $Q = ciA \Rightarrow Q = 0,8 \times \frac{10,00}{1000 \times 3600} \times 65 \times 10^6 = 144,5 \text{ m}^3/\text{s}$

- 9 Em dezembro de 2022 houve um artigo de televisão sobre o tema das cheias em Lisboa causadas pelas precipitações intensas que então tiveram lugar. Desse artigo consta o seguinte comentário sobre uma afirmação do então presidente da Câmara: "O período de 100 anos de que falou o autarca refere-se ao 'período de retorno', um parâmetro estatístico associado na meteorologia à periodicidade provável de fenómenos extremos acontecerem. E, de acordo com fonte do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), há de facto "vários estudos científicos" que apontam para um período de retorno de 100 anos para fenómenos como o que aconteceu na última madrugada e na quarta-feira da última semana."
- a) Defina período de retorno.
- b) Como se relaciona o período de retorno associado a um dado acontecimento com a periodicidade desse acontecimento? Inclua na sua resposta a estimativa da probabilidade de o acontecimento ocorrer em qualquer ano.

a) Capítulo 5 das folhas técnicas (Acquino, 1996, "Hidrologia e Recursos Hídricos"), concretamente pg. 5.20  
Grupo de slides HRH8-9

b) Os elementos anteriormente indicados

- 10 Num solo agrícola, com teores volúmicos correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de emurchecimento permanentes de  $\theta_{cc}=0.45$  e  $\theta_{ce}=0.19$ , respetivamente, está cultivada uma cultura que no mês de julho apresenta a evapotranspiração média diária de 5 mm/dia. No início desse mês, quando o teor volúmico de humidade no solo é de  $\theta_i=0.25$ , é efetuada uma rega que proporciona a infiltração no solo de 30 mm. Determine:
- a) O teor de humidade no solo no final da rega (expresso em teor volúmico e em mm).
- b) O intervalo de tempo máximo até à próxima rega, assumindo que, no entretanto, não chove.

$$a) \theta_{f_{\text{reg}}} = 0,25 + \frac{30}{1000} = 0,28$$

$$b) \theta_{f_{\text{reg}}} - \theta_{ce} = 0,28 - 0,19 = 0,09 \Rightarrow 90 \text{ mm}$$

Intervalo de tempo entre regas  $\frac{90 \text{ mm}}{5 \text{ mm/dia}} = 18 \text{ dias}$