

## Hidrologia

### 2. Análise de dados de precipitação

- 2.1 Obtenção de dados de base
- 2.2 Ajustamento de dados
  - 2.2.1 Período de base
  - 2.2.2 Análise de homogeneidade/consistência
- 2.3 Preenchimento de falhas
  - 2.3.1 Valores diários
  - 2.3.2 Valores superiores ao dia
- 2.4 Precipitação sobre uma área
  - 2.4.1 Média aritmética
  - 2.4.2 Método de Thiessen
  - 2.4.3 Método das isoietas
  - 2.4.4 Método do inverso do quadrado da distancia
- 2.5 Análise altura –área-duração da precipitação
- 2.6 Análise de precipitações anuais, mensais e diárias
- 2.7 Análise de precipitações de curta duração

Secção de Engª Rural

### 1. OBTENÇÃO DOS DADOS DE BASE

A medição da precipitação faz-se com **udómetros** (ou pluviómetros) e **udógrafos** (ou pluviógrafos) situados em **postos udométricos**.\*

#### Udómetros:

medem a quantidade de precipitação que ocorreu ao fim de um determinado período de tempo (tipicamente o período entre as 9:00 h de dois dias consecutivos), expressa em altura de água (mm)

A acumulação dos valores diários conduz a séries de precipitações semanais, mensais, anuais, etc.

\* A estimativa da precipitação pode também fazer-se remotamente por radar

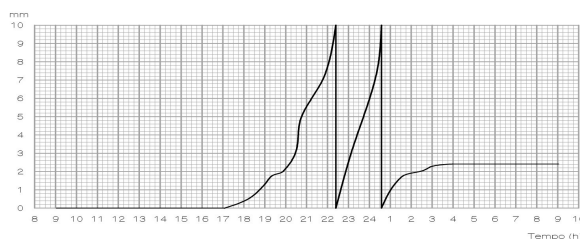


Secção de Engª Rural

**Udógrafos** (ou pluviógrafos)

a) de flutuador:

- A precipitação recolhida é conduzida para um reservatório que contém um flutuador leve e oco.
- À medida que o nível da água sobe, o movimento vertical do flutuador é transmitido (por mecanismos apropriados) a uma pena (aparo) que se desloca sobre um gráfico.
- Quando o reservatório está cheio, usa-se um sistema de sifão para o esvaziar e a pena (aparo) regressar ao zero do gráfico.



Secção de Eng.º Rural

**Udógrafo** (ou pluviógrafo):

b) de báscula:

Consiste num funil com área de  $200 \text{ cm}^2$  de abertura que recolhe a precipitação e a encaminha para um sistema de báscula constituído por haste apoiada no seu centro, formando uma espécie de balanceiro.

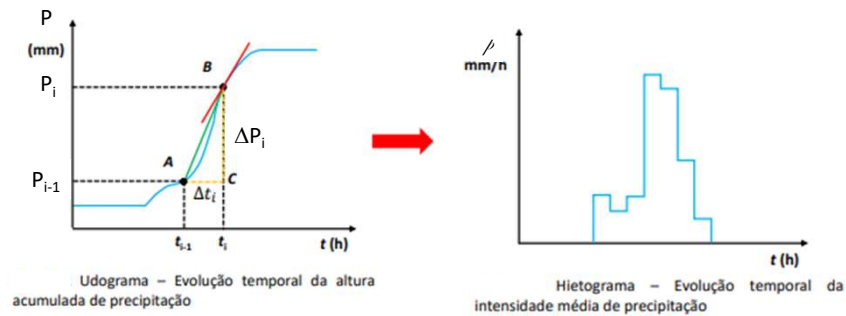
Quando a quantidade de água da precipitação acumulada numa das básculas ou concha atinge  $0.1 \text{ mm}$ , o peso desta quantidade de água aciona o mecanismo fechando um circuito (contacto – magnético) despejando a água e ficando preparada a outra báscula ou concha para receber nova quantidade de água.

Os pulsos produzidos são registados pelo sistema de aquisição de dados para reportar a quantidade de água acumulada no período pré – estabelecido, que nas redes do IM é de 10 minutos.



4/48

As alturas de precipitação medidas em udógrafos são registadas sob a forma de udogramas (analógicos ou digitais), a partir dos quais é necessário extrair valores relativos a curtos intervalos de tempo, inferiores ao dia, normalmente sob a forma de hietogramas.



Secção de Eng.º Rural

Dada a elevada densidade de postos meteorológicos com **udómetros** (456 unidades) em Portugal Continental (Fig. 1), conseguem-se caracterizar adequadamente as precipitações relativas a durações acima do dia.

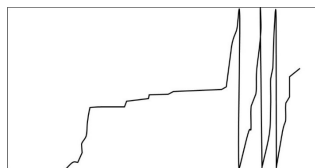
No entanto, a **densidade de postos meteorológicos com udógrafos** (80 unidades) é muito inferior à dos com **udómetros**, o que determina um tratamento diferenciado dos dados de precipitação com durações inferiores ao dia.



Figura 1 Rede meteorológica de Portugal Continental  
(Fonte: SNIRH)

6/48

16. A Figura representa um registo diário de um udógrafo de sifão. Sabendo que a escala vertical corresponde a 10 mm de precipitação, estime a precipitação nesse dia.



17. O udograma acumulado de determinada precipitação é representado no Quadro. Determine a máxima intensidade média da precipitação em meia hora.  $(82 \text{ mm h}^{-1})$

t (min)	0	10	20	30	40	50	60
P (mm)	0	15	35	41	45	47	47

18. No Quadro seguinte apresentam-se os dados registados por um udógrafo.

- represente graficamente o udograma;
- obtenha o hietograma correspondente aos intervalos de discretização de 1 h e 2 h.

	Dia i								Dia i+1				
t(h)	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
P(mm)	0	0.4	1.2	2.2	5.5	7.7	12.5	16	21	21.9	22.3	22.4	22.4

## 2. PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DE DADOS

### 2.1 Período de base e qualidade dos dados

- Séries hidrológicas são os dados resultantes da observação de grandezas hidrológicas (p.e. precipitações, caudais, etc);
- A uma mesma grandeza podem corresponder diferentes séries hidrológicas, consoante o intervalo de tempo;
- Por exemplo, para os registos de um posto udométrico, podem ter-se séries de valores da precipitação máxima diária, ou da precipitação média anual;

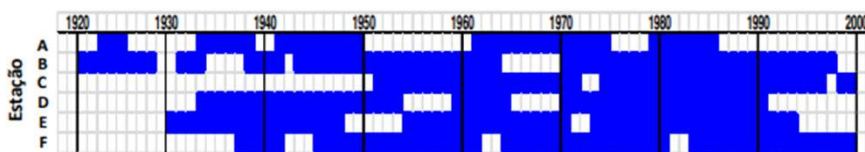
Verificações principais a fazer:

- Detecção de erros grosseiros e valores atípicos (ouliers);
- Análise de homogeneidade e consistência;
- Preenchimento de falhas (avaria dos aparelhos de registo);

Secção de Eng.º Rural

### 3. PREENCHIMENTO DE FALHAS

Consiste fundamentalmente em aplicar **técnicas de interpolação de valores de estações envolventes**:



Identificação dos períodos com dados de precipitação anual em 6 estações meteorológicas

- As técnicas mais simples não se devem utilizar para estimar mais de 5 - 10 % de um registo (WMO, 1994);
- Para períodos mais longos têm de se utilizar métodos mais elaborados, que preservem as características estatísticas das séries, nomeadamente técnicas desenvolvidas originalmente para efetuar extensão de dados (não estudada no contexto desta UC).

Secção de Eng.º Rural

### 3.1 Métodos para valores diários ou superiores

A-utilização de **apenas uma estação próxima** pode considerar-se para intervalos de tempo não muito pequenos, iguais ou acima do mês.



Técnicas simples:

- **regressão linear simples** da estação a preencher falhas sobre uma estação próxima

**B- utilização de várias estações** envolventes à estação com falhas



Técnicas simples:

- **método da razão normal;**
- **método do inverso do quadrado da distância.**



Técnicas mais complexas:

- **regressão linear múltipla,**
- **utilização de isoietas ou**
- **Kriging (geoestatística).**

Secção de Engª Rural

#### Método da regressão linear simples ou múltipla:

A obtenção dos dois parâmetros da regressão pode fazer-se no excel, adicionando como linha de tendência a regressão linear

*Simples:* relaciona as precipitações da estação com falhas com as precipitações de um posto vizinho

$$y = a \cdot x + b$$

$$P_y = a \cdot P_i + b$$

$P_y$  é a precipitação a estimar devido à falha;  $P_i$  é a precipitação para o mesmo período na estação sem falhas.

*Múltipla:* relaciona as precipitações da estação com falhas com as precipitações de vários postos vizinhos

$$y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + b$$

$$P_y = a_1 \cdot P_1 + a_2 \cdot P_2 + a_3 \cdot P_3 + \dots + b$$

#### Método da regressão linear com pesos:

Atribuem-se pesos diferentes às várias estações envolventes. A soma dos pesos de todas as estações deve ser 1.

Secção de Engª Rural

Método da razão normal:

Y é a estação com falhas; Ne é o nº de estações envolventes sem falhas; P( $\Delta t$ ) é a altura de precipitação para o intervalo de tempo  $\Delta t$ ; P é a precipitação média anual.

Normalmente usam-se 3 a 4 estações envolventes (pode conduzir a erros até 30%, Singh 1989).

$$P_y(\Delta t) = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} \frac{\bar{P}_y}{\bar{P}_i} P_i(\Delta t)$$

Método do inverso do quadrado da distância:

Normalmente usam-se 4 estações envolventes situadas nos 4 quadrantes:

$$P_y(\Delta t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_e} \frac{1}{d_i^2}} \sum_{i=1}^{N_e} \frac{P_i(\Delta t)}{d_i^2}$$

$d_i$  é a distância entre as estações envolventes e a estação y

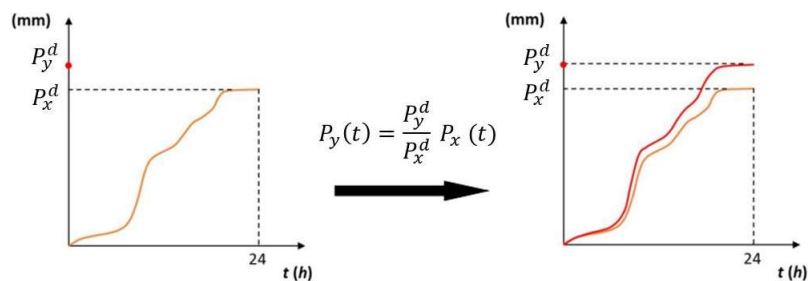
As estações envolventes selecionadas para aplicação deste métodos devem:

- Ter no mínimo 10 anos de dados sem falhas;
- Estar numa região climatológica semelhante à da estação com falhas

Secção de Eng.º Rural

### 3.2 Métodos para valores inferiores ao dia

Embora se possam considerar técnicas de regressão, o método mais simples consiste em utilizar o **udograma** de uma estação vizinha,  $P_x(t)$ , registada com **udógrafo**, e admitir que na estação apenas com **udómetro** a evolução dos valores acumulados seria idêntica:



Preenchimento de falhas para intervalos de tempo inferiores ao dia

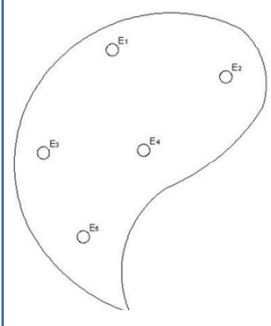
$P^d$  – precipitação diária

Secção de Eng.º Rural

#### 4. PRECIPITAÇÃO SOBRE UMA ÁREA

As precipitações obtidas com udómetros ou udógrafos, de área reduzida, podem considerar-se como **pontuais** (ao contrário dos valores estimados com radar ou satélite), sendo a **precipitação não uniforme sobre uma grande área**.

Geralmente, para os estudos hidrológicos, interessa-nos conhecer a **precipitação média sobre uma determinada zona** (uma bacia hidrográfica por exemplo, ou um perímetro de rega) e não a pontual medida.



Para estimar um valor de precipitação médio sobre uma área,  $\bar{P}$ , recorre-se normalmente à média ponderada das precipitações pontuais:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^{N_e} \alpha_i P_i$$

Sendo:  
 $P_i$  a precipitação medida na estação  $i$ ;  
 $\alpha_i$  o peso dado à estação  $i$ ;  
 $N_e$  o nº de estações usadas.

Secção de Eng.º Rural

Como determinar os **pesos** a atribuir a cada estação?

- média aritmética,
- método de Thiessen,
- método das isoietas,
- método do inverso do quadrado da distância

#### Média aritmética

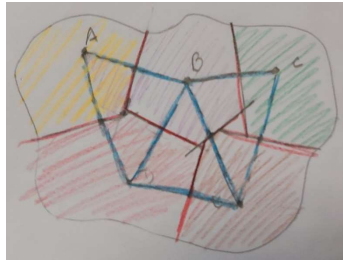
- É atribuído o mesmo peso a todas as estações;
- Método com interesse apenas em bacias hidrográficas com uma densidade de estações elevada e com orografia não pronunciada;
- Só se devem utilizar as estações localizadas dentro da bacia.

Secção de Eng.º Rural



Método de Thiessen

Considera que a precipitação ocorrida numa estação se distribui uniformemente no espaço, dentro de um polígono (de Thiessen) ou área de influência, cujos pontos estão mais próximos dessa estação do que de qualquer outra. A, B, ... são as estações



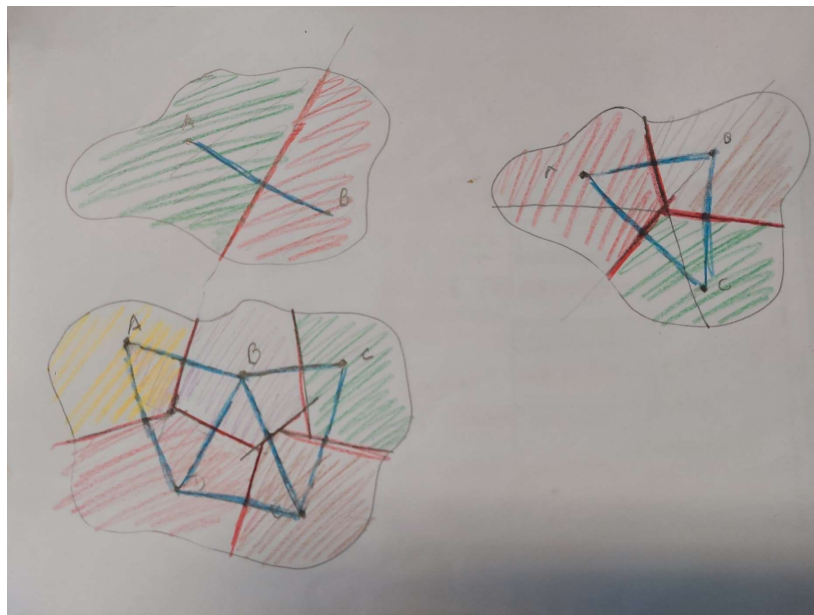
- os pesos relativos para cada estação são determinados pelas respectivas áreas, calculadas pela aplicação do método dos polígonos de Thiessen;
- as fronteiras dos polígonos são formadas pelas mediatrizes das linhas que unem dois postos adjacentes.

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^{N_e} \alpha_i P_i$$

com

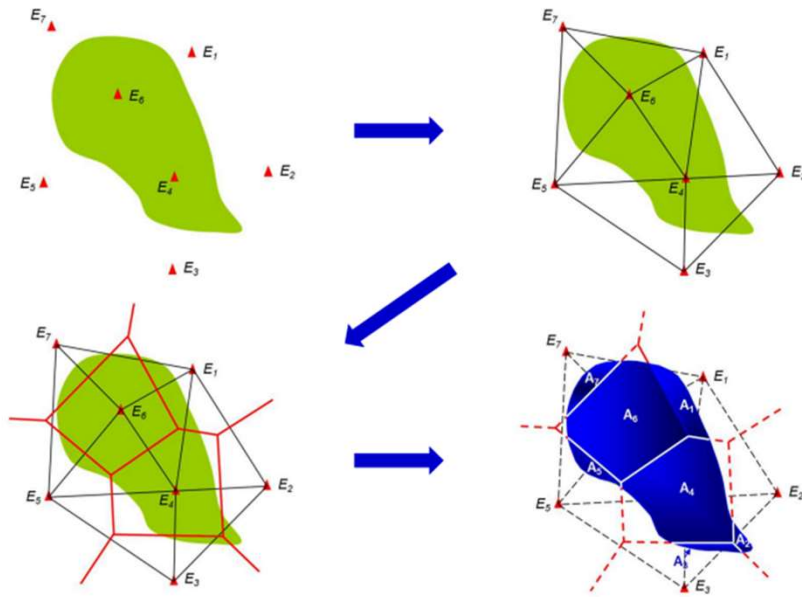
$$\alpha_i = \frac{A_i}{A}$$

Secção de Eng.º Rural



Secção de Eng.º Rural

18/48



Etapas da construção dos polígonos de Thiessen

Secção de Eng.º Rural

### Considerações

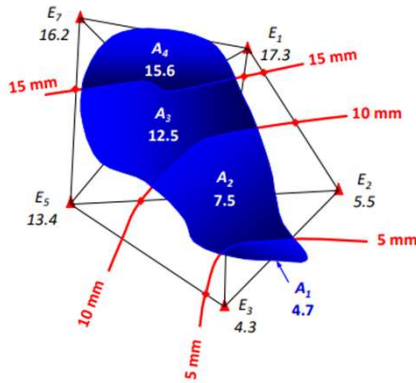
- O método de Thiessen, normalmente, é mais preciso que o método da média aritmética, podendo ser utilizados postos fora da área da bacia em estudo;
- No entanto o mesmo não é flexível seja por perda de dados de um determinado posto num certo período de tempo ou cada vez que é efetuada uma mudança nos postos de trabalho (o que implica construir um novo traçado dos polígonos);
- Ainda, o método não considera diretamente as influências orográficas nas chuvas ou variações de distribuições espaciais de intensidade de uma chuva.

Secção de Eng.º Rural

Método das isoietas

Escolhe-se o intervalo de discretização das isoietas, lugar geométrico dos pontos com a mesma quantidade de precipitação, de acordo com a amplitude de valores observados.

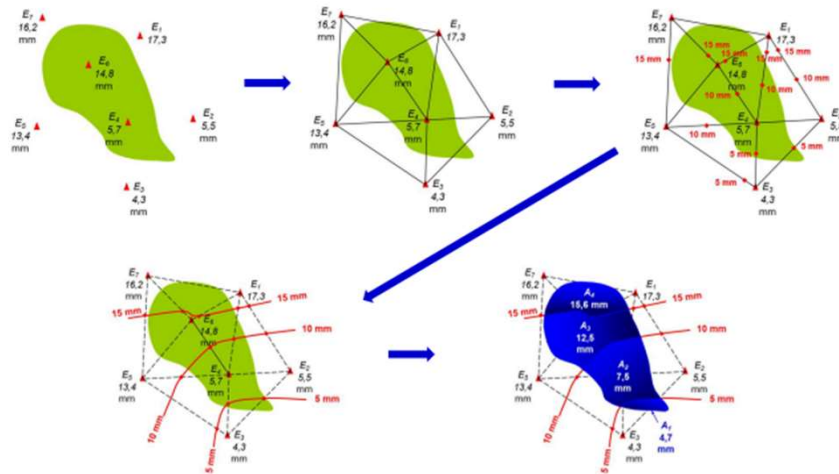
As isoietas podem ser traçadas considerando diferentes fatores, tais como distância entre estações (o único critério do método de Thiessen), altitudes, distância ao mar, etc



$$\bar{P} = \frac{P_i + P_{i+1}}{2}$$

Exemplo do método das isoietas

Secção de Eng.º Rural



Etapas da construção das isoietas

Secção de Eng.º Rural

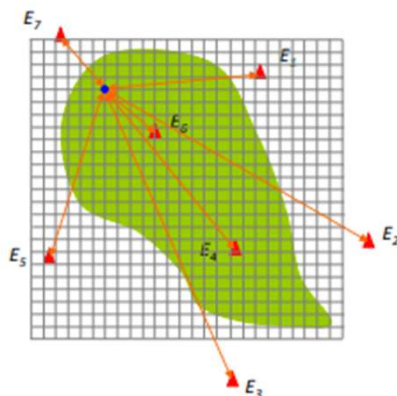
### Considerações

- O método das isoietas é bastante flexível e o conhecimento do modelo de tempestade pode influenciar o traçado das isoietas, mas uma densidade de postos, relativamente alta é necessária para a correta construção dos mapas para uma tempestade complexa;
- O método das isoietas fornece resultados mais corretos do que o método de Thiessen, mas é mais trabalhoso, pois exige o traçado das isoietas para cada caso analisado, ao contrário do método de Thiessen, em que as áreas de influência são sempre as mesmas;

Secção de Eng.º Rural

### Método do inverso do quadrado da distância

Estima-se a quantidade de precipitação em todos os nós de uma malha; A precipitação média sobre a bacia é a média aritmética das precipitações estimadas em cada nó



Exemplo do método do inverso da quadrado da distância

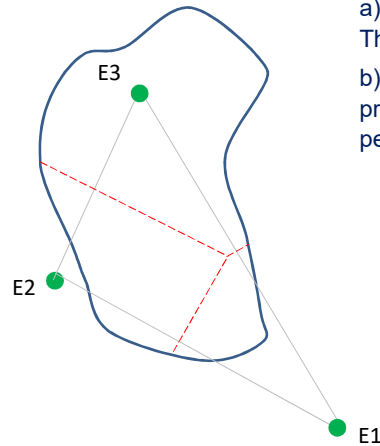
$$P_n = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_e} \left( \frac{1}{d_i^2} \right)} \sum_{i=1}^{N_e} \frac{P_i}{d_i^2}$$

$d_i$  = distância entre os nós e a estação

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{N_n} P_n}{N_n}$$

Secção de Eng.º Rural

20. Em três postos udométricos, E1, E2 e E3, com áreas de influência 10, 20 e 30 km<sup>2</sup> sobre determinada bacia hidrográfica registaram-se, num dado período de tempo, precipitações de 12, 18 e 23 mm respetivamente.



a) Represente os polígonos de Thiessen;

b) Estime, pelo método de Thiessen, a precipitação sobre a bacia nesse período de tempo.

(19.5 mm)

Secção de Eng.º Rural

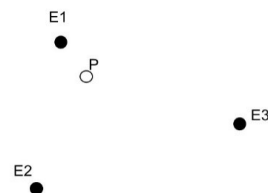
13. Na Figura 2 apresentam-se três estações udométricas e um ponto onde se pretende saber a precipitação que ocorreu em determinado ano. Sabendo as coordenadas cartesianas dos elementos representados e a precipitação que ocorreu nas estações (Quadro), estime a precipitação no ponto P recorrendo aos métodos:

- a) média aritmética;  
b) IDW.

(861.7 mm)

(945 mm)

	M(km)	P(km)	P(mm)
E1	12.6	12.4	1020
E2	9.0	4.4	752
E3	21.1	6.3	813
P	14.2	9.3	?



Secção de Eng.º Rural

14. Considere os valores de precipitação anual, em mm, correspondentes a duas séries dos postos A e B com 26 anos de registos. A série B apresenta duas falhas nos anos hidrológicos de 1972/1973 e 1979/1980. Estime os valores em falha com recurso ao método da regressão linear simples. (dados para o problema em folha excel disponível no FENIX).

(684 mm; 633 mm)

Data	Precipitação anual A (mm)	Precipitação anual B (mm)
1965/66	908.0	1214.4
1966/67	615.9	819.9
1967/68	580.9	712.7
1968/69	964.0	1086.3
1969/70	770.4	997.5
1970/71	611.0	750.2
1971/72	394.0	623.3
1972/73	525.0	
1973/74	439.4	644.2
1974/75	624.5	588.8
1975/76	507.8	557.1
1976/77	734.4	1022.0
1977/78	886.5	1095.4
1978/79	895.0	1307.8
1979/80	483.4	
1980/81	343.6	458.0
1981/82	621.9	806.2
1982/83	378.8	515.2
1983/84	629.6	815.4
1984/85	637.1	824.4
1985/86	514.9	678.1
1986/87	531.6	698.1
1987/88	818.5	1041.5
1988/89	560.2	732.3
1989/90	644.1	832.7
1990/91	628.6	814.2

Secção de Eng.º Rural

27/48

15. Considere os valores de precipitação anual, em mm, correspondentes a quatro estações meteorológicas A, B, C e D com 37 anos de registos. A série da estação D apresenta duas falhas nos anos hidrológicos de 1976 e 1981. Estime os valores em falha com recurso ao método da Razão Normal. (dados para o problema em folha excel disponível no FENIX).

(958; 857 mm)

Ano	Precipitação anual (mm)			
	A	B	C	D
1970	1251.7	1315.8	1337.0	2019.0
1971	1230.2	1294.6	1300.0	1800.0
1972	1128.3	955.1	1400.0	1950.0
1973	574.8	740.4	364.9	599.9
1974	758.7	933.1	633.2	744.9
1975	930.2	1161.5	676.3	868.6
1976	930.4	1387.9	807.7	-999.0
1977	882.8	1032.0	951.2	1000.0
1978	730.7	699.0	615.0	540.6
1979	1230.1	909.7	671.8	866.2
1980	1705.7	1387.5	766.8	1230.3
1981	1404.7	908.8	606.9	-999.0
1982	828.1	603.5	511.7	599.0
1983	1097.6	967.8	447.8	751.8
1984	1955.8	1206.9	858.1	1269.4
1985	1410.1	1470.5	710.2	979.1
1986	1056.2	871.6	442.5	695.0
1987	1730.2	1113.1	783.2	1254.0
1988	1797.6	1674.3	999.2	1300.0
1989	2496.5	2000.5	1079.3	1600.0
1990	1483.4	1395.3	771.9	1185.9
1991	1187.7	956.3	500.2	798.1
1992	2247.3	1694.2	1083.8	1600.0
1993	1122.4	1048.7	578.6	914.8
1994	1466.9	1435.8	766.5	1203.1
1995	2324.9	1626.5	1022.2	1500.0
1996	967.2	950.2	466.8	616.3
1997	1546.5	1398.0	745.0	1062.9
1998	2024.2	1526.9	847.9	1315.2
1999	1311.5	1079.0	568.6	948.9
2000	1100.4	984.9	849.4	1068.7
2001	1363.3	1293.3	856.6	1216.0
2002	1161.4	1017.3	575.6	834.2
2003	1535.2	1375.1	673.4	1107.0
2004	1000.6	875.1	586.0	798.4
2005	1159.0	1355.8	748.2	1126.2
2006	2022.4	1791.6	948.4	1458.1

Secção de Eng.º Rural

28/48

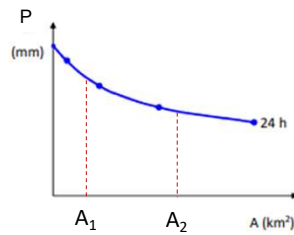
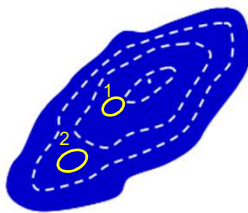
5. Análise altura-área-duração da precipitação

Vimos anteriormente como calcular a precipitação média sobre uma área recorrendo às medições em mais do que uma estação com influência nessa área.

No entanto, em projeto é necessário conhecer como variam as alturas consoante a área que drena para uma secção.

A relação entre a altura e a área obtém-se através da análise das relações entre a altura precipitada e a área abrangida, relativas a tempestades severas sobre a região.

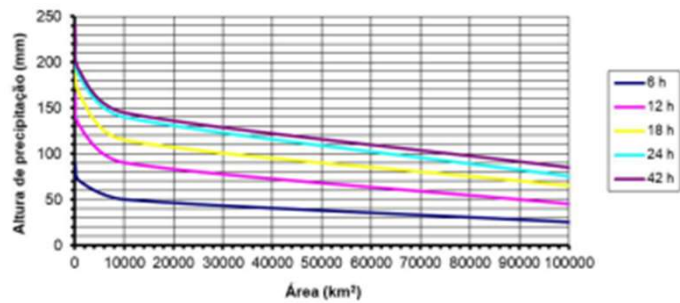
Por exemplo, dadas as isoietas para a precipitação num dado dia (a altura de precipitação aumenta do exterior para o interior):



Isoietas – linhas que unem todos os pontos com a mesma altura de precipitação para um determinado intervalo de tempo

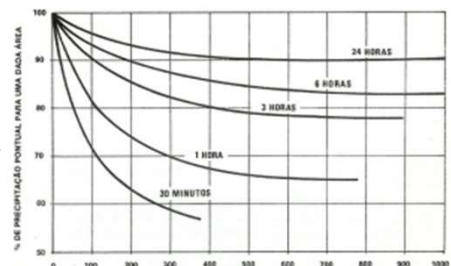
Secção de Eng.ª Rural

Curvas altura-duração-área para uma chuvada no Canadá



Quando a área de uma bacia hidrográfica excede 25 km<sup>2</sup>, as observações de uma única estação não devem ser estendidas a toda a bacia

Varição da precipitação sob a forma de fração da precipitação máxima no centro, com a área

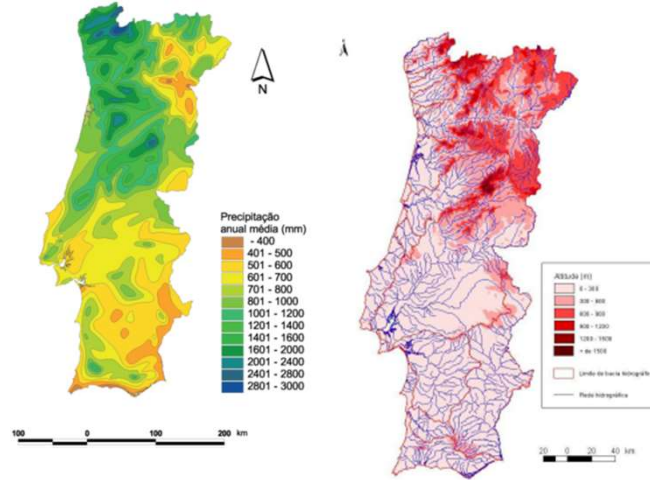


Secção de Eng.ª Rural

**6. ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES ANUAIS, MENSAIS, DIÁRIAS**

Formas usuais de representação:

- Representação com mapas de isoietas,



Distribuição da precipitação anual média em Portugal continental  
Fonte Hipólito e Vaz, 2017)

Figura 16 Hipsometria de Portugal Continental  
(Fonte: INAG, 2001)

- representação em gráficos de barras,

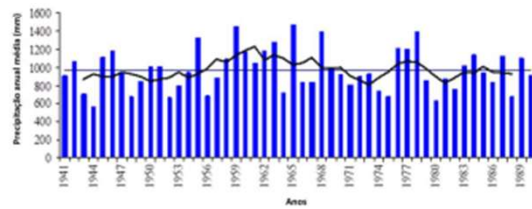


Figura 17 Série de precipitação anual média em Portugal Continental no período 1941/42 a 1990/91 (azul) e média móvel de 5 anos (negro)  
Fonte: INAG, 2001)

- representação com caixa-e-bigodes

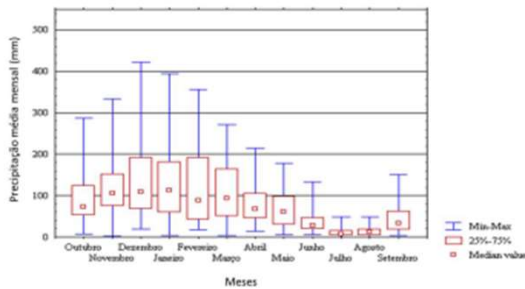


Figura 18 Gráfico caixa-e-bigodes para a precipitação média mensal em Portugal Continental (Fonte: INAG, 2001)

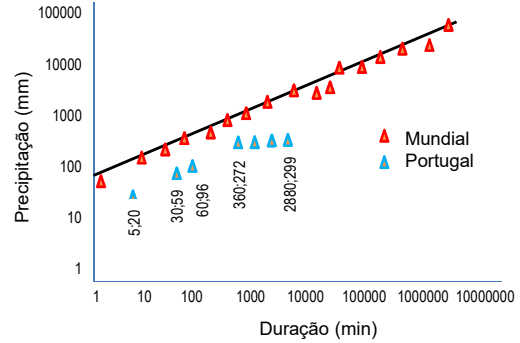


7. Análise de precipitações de curta duração

**Quadro 1** Máximos mundiais de alturas de precipitação, para cada duração (Fonte: WMO, 1994)

Duração	Altura (mm)	Local	Data
1 min	38	Barot, Guadalupe	26-Nov-1970
8 min	126	Füssen, Bavaria	25-Mai-1920
15 min	198	Plumb Point, Jamaica	12-Mai-1916
20 min	206	Curtea de Argeș, Roménia	7-07-1889
42 min	305	Holt, MO	22-Jun-1947
1 h	401	Shangdi, Nei Mongol, China	3-Jul-1975
2 h 10 min	483	Rockport, WV	18-07-1889
2 h 45 min	559	D'Hanis, TX	31-Mai-1935
4 h 30 min	782	Smethport, PA	18-Jul-1942
6 h	840	Muduocaidang, Nei Mongol, China	1-Ago-1977
9 h	1067	Baloune, Reunião	28-Fev-1964
10 h	1400	Muduocaidang, Nei Mongol, China	1-Ago-1977
18 h 30 min	1689	Baloune, Reunião	28-29-Fev-1964
24 h	1825	Foc Foc, Reunião	7-8-Jan-1966
2 d	2467	Aurere, Reunião	7-9-Abr-1958
3 d	3130	Aurere, Reunião	6-9-Abr-1959
4 d	3721	Cherrapunji, Índia	12-15-Set-1974
5 d	4301	Commerson, Reunião	22-27-Jan-1980
6 d	4653	Commerson, Reunião	23-27-Jan-1980
7 d	5003	Commerson, Reunião	21-27-Jan-1980
8 d	5296	Commerson, Reunião	20-27-Jan-1980
9 d	5692	Commerson, Reunião	19-27-Jan-1980
10 d	6028	Commerson, Reunião	18-27-Jan-1980
11 d	6299	Commerson, Reunião	17-27-Jan-1980
12 d	6401	Commerson, Reunião	16-27-Jan-1980
13 d	6422	Commerson, Reunião	15-27-Jan-1980
14 d	6432	Commerson, Reunião	15-28-Jan-1980
15 d	6433	Commerson, Reunião	14-28-Jan-1980
31 d	9300	Cherrapunji, Índia	Julho-1861
2 mês	12787	Cherrapunji, Índia	Junho-Julho-1861
3 mês	16369	Cherrapunji, Índia	Mai-Junho-1861
4 mês	18738	Cherrapunji, Índia	Abril-Julho-1861
5 mês	20412	Cherrapunji, Índia	Abril-Agosto-1861
6 mês	22454	Cherrapunji, Índia	Abril-Setembro-1861
11 mês	22990	Cherrapunji, Índia	Janeiro-Agosto-1861
1 ano	26461	Cherrapunji, Índia	Agosto-1860 a Junho-1861
2 ano	40768	Cherrapunji, Índia	1860-1861

Recordes de precipitação em função da duração



Intensidade de precipitação

$$p = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Para relacionar, em cada local/região a relação entre a intensidade de precipitação e a respetiva duração para determinado período de retorno, utilizam-se as **curvas de intensidade –duração-frequência - IDF**

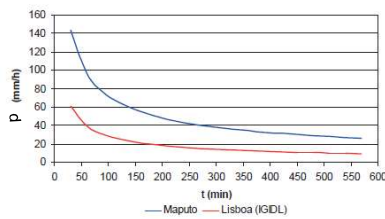
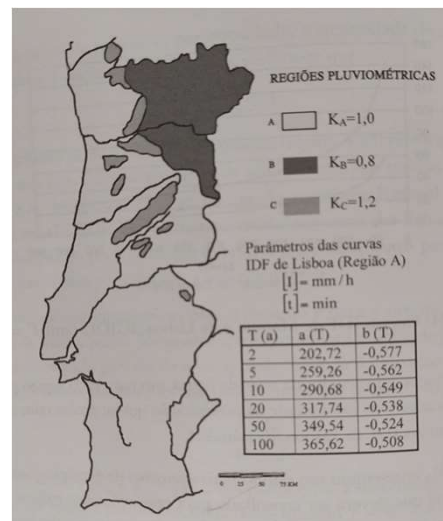


Figura 4.24: Curvas IDF de Maputo e de Lisboa (IGDL) para T = 50a | pág. 135.

$$p(t, T) = a t^b$$



### Referências Bibliográficas

- INAG (2001). Plano Nacional da Água. Parte I - Enquadramento e contextualização. Volume II - Caracterização e diagnóstico da situação dos recursos hídricos. Capítulo 4: Usos, consumos e necessidades de água. Versão de trabalho. Instituto da Água, Lisboa. Abril de 2001.
- Hipólito, J.R. e Vaz, A.C. 2017. Hidrologia e Recursos Hídricos. IST Press, Lisboa. ISBN: 978-972-8469-86-3;
- Lencastre, A e Franco, F.M. 2003. Lições de Hidrologia. Fundação Armando Lencastre, Lisboa. ISBN: 972-8152-59-0
- Sistema Nacional de Informação de recursos Hídricos (SNIRH)
- World Meteorological organization (WMO) (1994). Guide to Hydrological practices , data acquisition and processing, Analysis forecasting and other applications, nº 168, Suíça.