

HIDROLOGIA

Precipitação

Medição

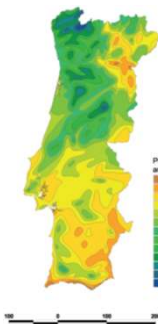
Avaliação da qualidade dos dados

Precipitação sobre uma área

Preenchimento de falhas

Precipitações intensas de curta duração

Análise de precipitações anuais, mensais e diárias



CONCEITOS

- Precipitação - todo o conjunto de partículas de água, quer no estado líquido, no estado sólido ou nos dois, que caem da atmosfera e que atingem a superfície do globo;
- A chuva, a neve, o granizo, o orvalho e a geada são diferentes formas de precipitação.

Dada a sua capacidade de gerar escoamento, a chuva é a forma de precipitação com maior interesse para a hidrologia

Caracterização

- quantidade de precipitação, ou altura pluviométrica (P , mm)
- duração
- intensidade de precipitação (p , mm/h)

Necessidades de rega
Abastecimento urbano e industrial

Estimativa dos caudais de ponta
Estudos de erosão

OBTENÇÃO DOS DADOS DE BASE

A medição da precipitação faz-se com:

- udómetros (ou pluviómetros) e
- udógrafos (ou pluviógrafos)

situados em **postos udométricos** ou **estações meteorológicas**.

➤ **Udómetros** (ou pluviómetros):

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

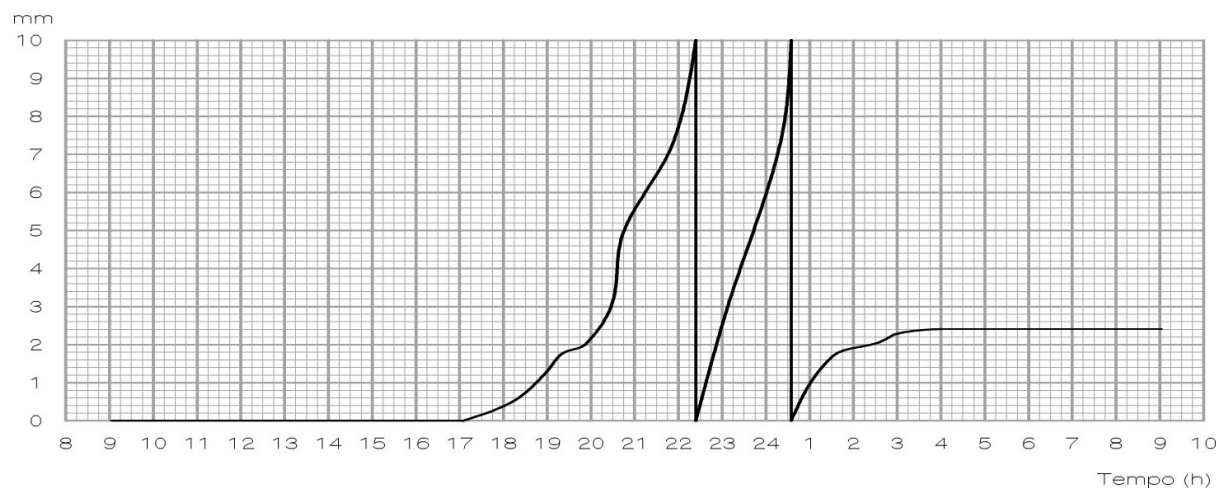
A acumulação dos valores diários conduz a séries de precipitações semanais, mensais, anuais, etc.



➤ Udógrafos (ou pluviógrafos)

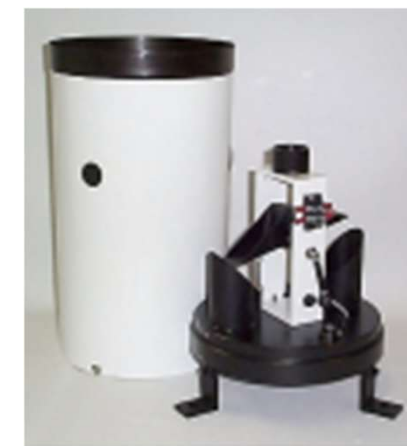
Os udógrafos são udómetros utilizados de modo a fornecer um registo contínuo da precipitação (udograma)

- a) determinar as horas de começo e fim de precipitação
- b) determinar a intensidade da chuva em qualquer momento
- c) determinar a quantidade total de precipitação



Podem subdividir-se em:

- a) udógrafo de flutuador/sifão
- b) udógrafos de báscula



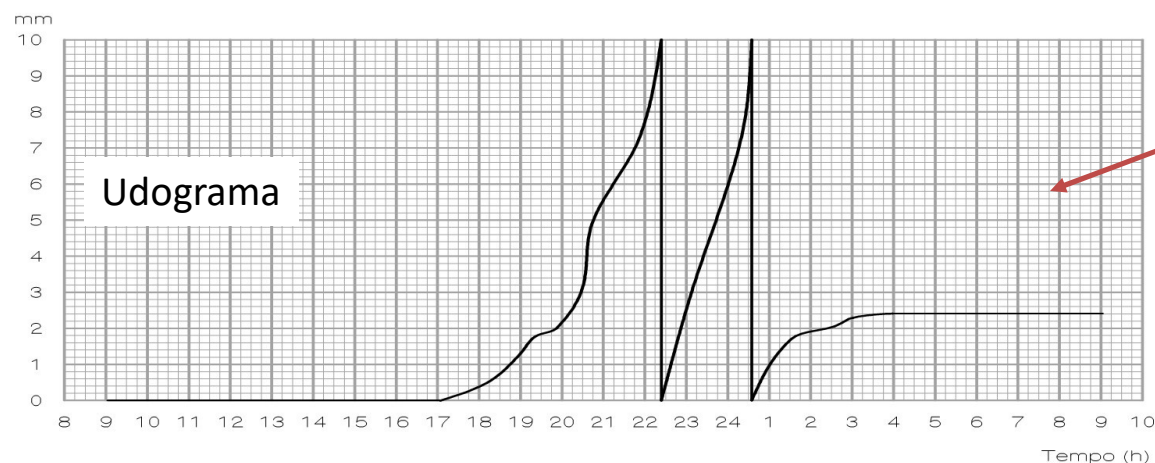
a)

b)

➤ Udógrafos (ou pluviógrafos)

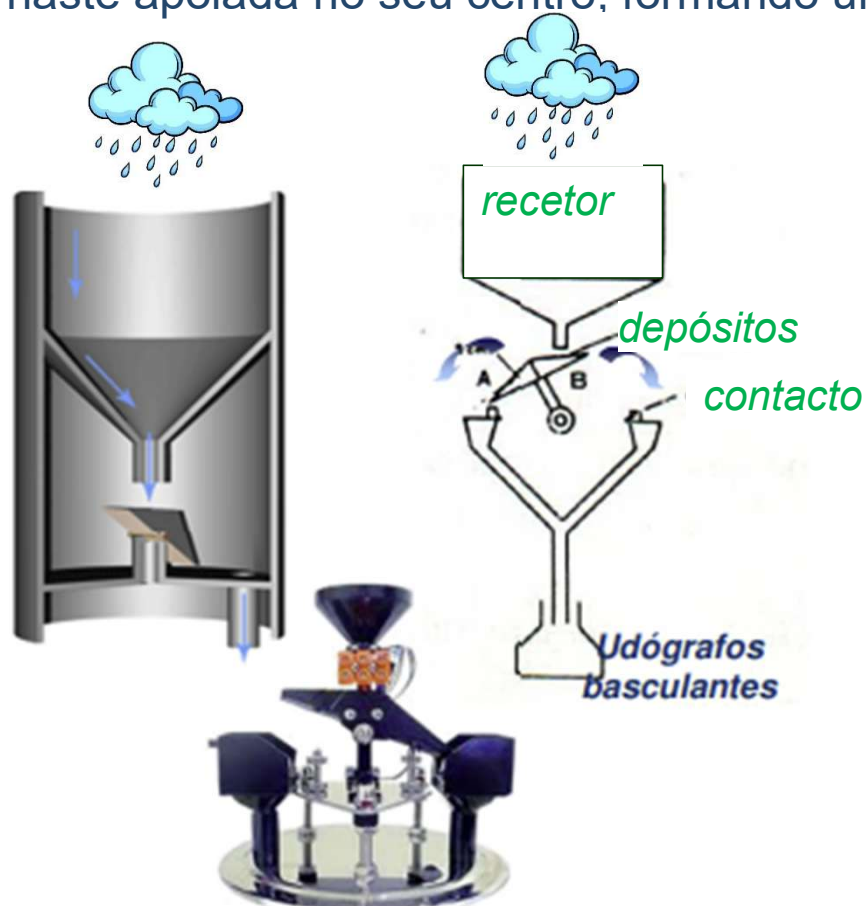
a) de sifão:

- 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 um aparo que se desloca sobre um gráfico
- quando o reservatório está cheio, um sistema de sifão esvazia-o e o aparo regressa ao zero do gráfico.



b) de báscula:

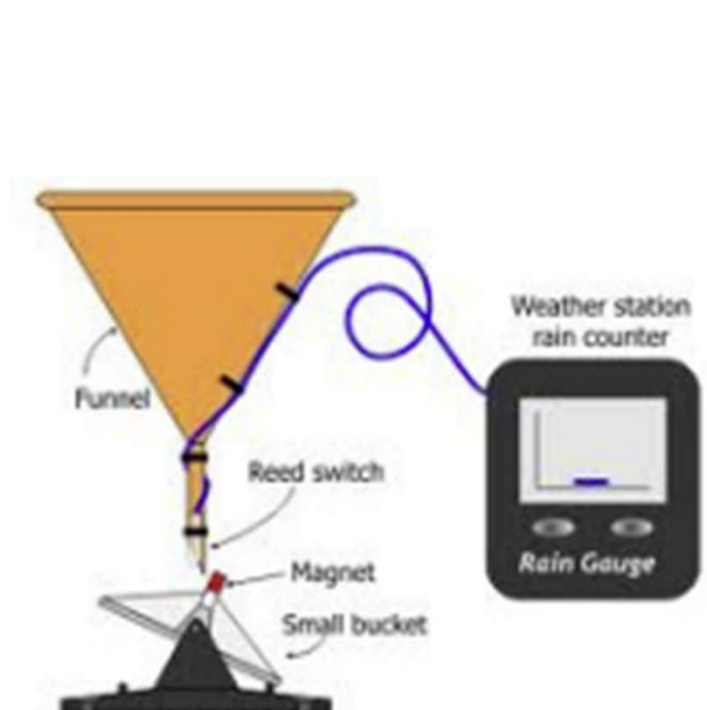
Consiste num funil com área de 200 cm² de abertura que recolhe a precipitação e a encaminha para um sistema de báscula constituído por haste apoiada no seu centro, formando uma espécie de balanceiro.

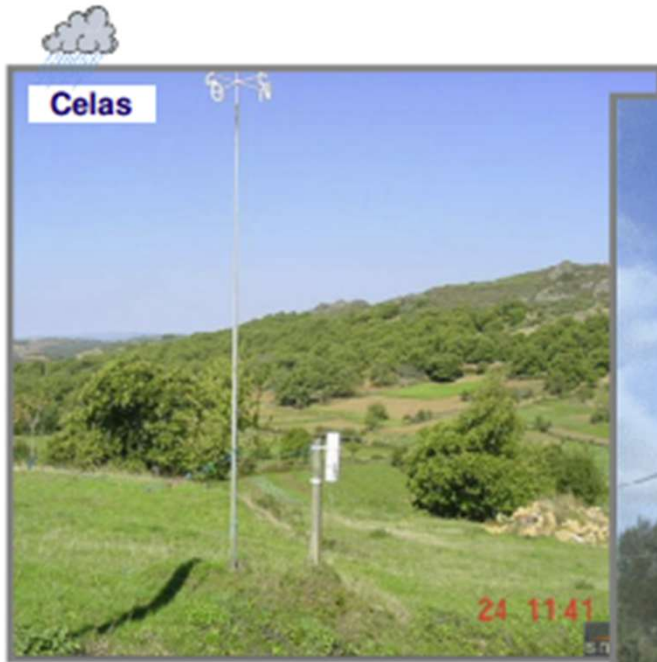


Quando a quantidade de **precipitação acumulada** numa das básculas atinge 0.1 mm (L m⁻²), o seu peso acciona o mecanismo fechando um circuito (contacto – magnético) despejando a água e ficando preparada a outra báscula para receber nova quantidade de água.

Os **pulsos são registados** pelo sistema de aquisição de dados para reportar a quantidade de água acumulada no período pré – estabelecido (**redes do IPMA = 10 minutos**)

A tendência atual é a de instalar sistema automáticos de aquisição, teletransmissão e arquivo dos registos de precipitação



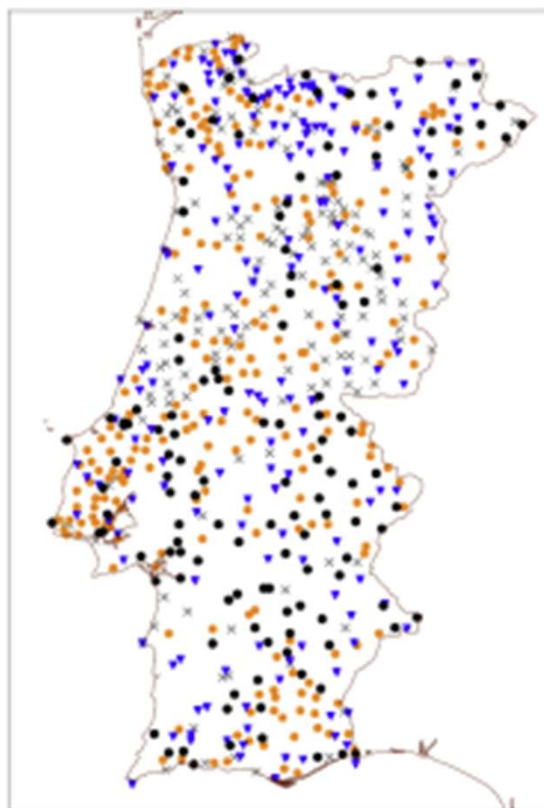


Postos udométricos

Estações meteorológicas



IPMA



Estações com

- + 50 anos de dados
- ▼ 31 a 50 anos de dados
- 21 a 30 anos de dados
- x 10 a 20 anos de dados

Rede actual: 164 estações

SNIRH - APA



Até 2000:

- 456 postos meteorológicos com **udómetros** → só permite tratar dados com duração superior ao dia
- 80 postos meteorológicos com **udógrafos**

Actualmente

- 493 postos udográficos
- 59 estações meteorológicas

- **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

Antes de podermos trabalhar com as séries de precipitação (ou outra variável hidrológica) de um dado posto, temos primeiro que efetuar o controlo de qualidade das séries registadas

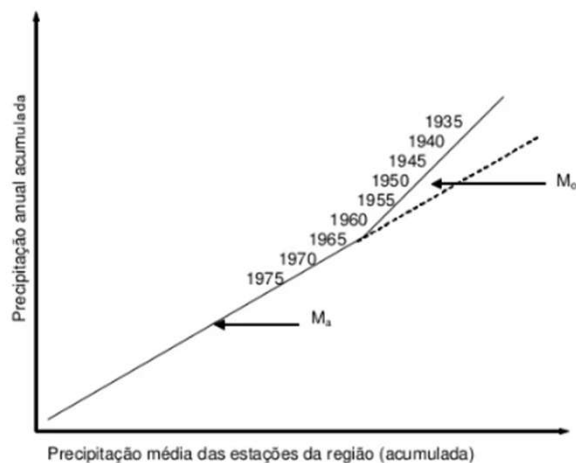
Verificações principais a fazer:

- detecção de erros grosseiros e valores atípicos (*outliers*)
- análise de homogeneidade e consistência
- identificar a existência de falhas (e efectuar o seu preenchimento)

Análise de homogeneidade / consistência

Homogeneidade da série de registro

As séries de elementos climáticos (como a precipitação) são consideradas **homogêneas** se os **factores que os influenciam se mantiverem constantes ao longo do período de observação.**



evidenciada pela
presença de efeitos de
tendência / de
descontinuidades

Exemplos de factores que comprometem a homogeneidade das séries hidrológicas em geral

- alteração do local de medição
 - mudança do aparelho de medição ou alteração da sua calibração
 - mudança do método de medição
- desflorestação de uma bacia hidrográfica,
 - aumento da urbanização ou
 - criação de albufeiras.

Inconsistência da série de registo

Uma série é consistente se o seu comportamento não for diferente do de séries vizinhas

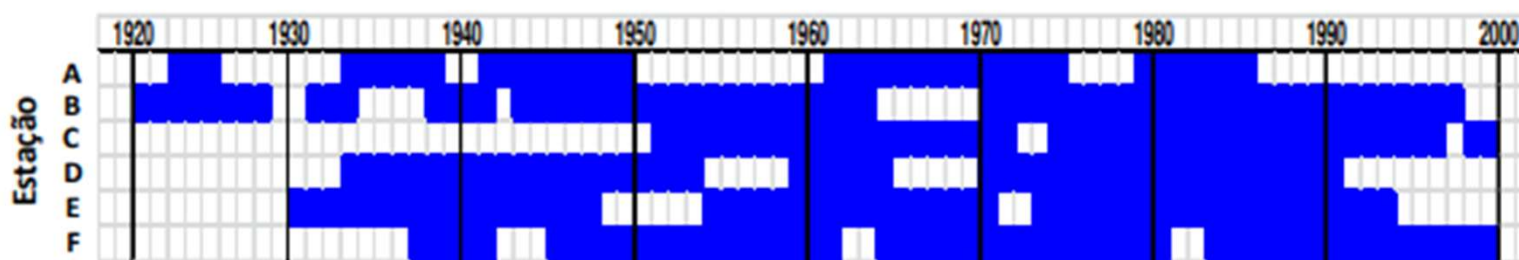
A inconsistência é **devida a alterações dos processos de medição da grandeza em questão**

Exemplos:

- alteração do equipamento
- mudança do local de instalação de um udómetro
- criação de obstáculos junto de um udómetro instalado num dado local
- mudança de observador
- substituição de um troço de escala hidrométrica que não tenha sido devidamente nivelado, etc.

PREENCHIMENTO DE FALHAS

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



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 registro (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).

Métodos para valores diários ou superiores

A – 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.**



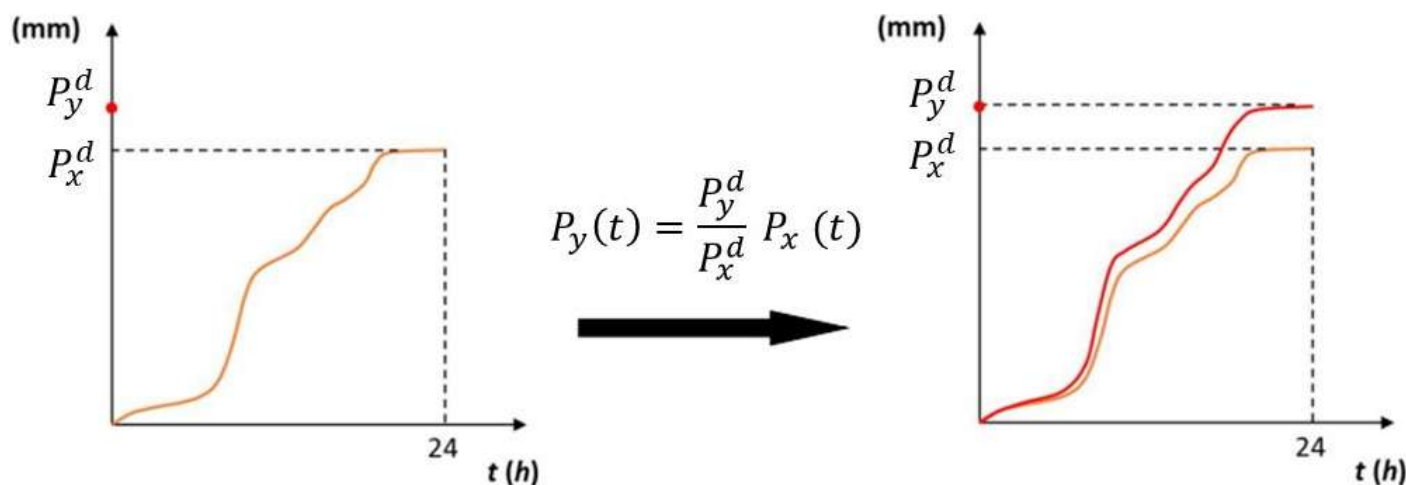
Técnicas mais complexas:

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



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:



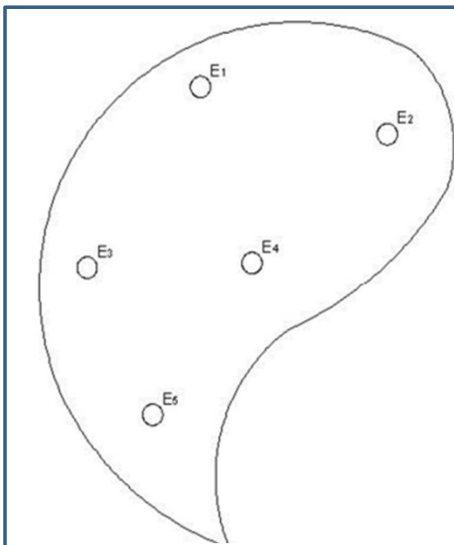
Preenchimento de falhas para intervalos de tempo inferiores ao dia

P^d – precipitação diária

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 ;
- α_i o peso dado à estação i ;
- N_e o nº de estações usadas.

Quais os métodos para a determinação do peso α ?

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

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

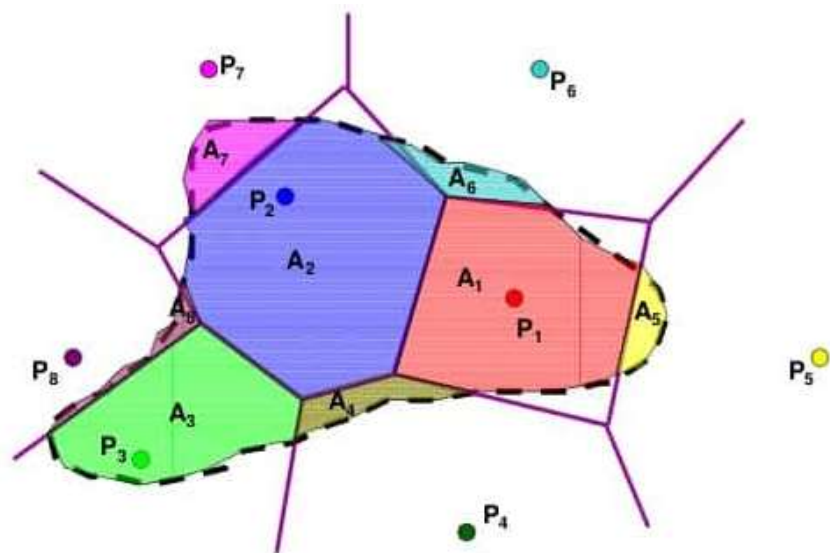
a) Média aritmética

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

b) 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. $P_1, P_2, \dots$ são as estações vizinhas

- os pesos relativos (α) 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.



$$\bar{P} = \sum_{i=1}^{N_e} \alpha_i P_i \quad \text{com} \quad \alpha_i = \frac{A_i}{A}$$

$$\bar{P} = \frac{\sum A_i P_i}{A}$$

— — — Área para a qual se pretende determinar a precipitação média $\bar{P}$

P_i precipitação em cada uma das estações udométricas que influenciam a área

A_i as subáreas influenciadas por cada estação i

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 (quando há perda de dados de um determinado posto num certo período de tempo ou cada vez que é efetuada uma mudança nos postos de medição é necessário construir um novo traçado dos polígonos);
- o método não considera diretamente as influências orográficas nas chuvas ou variações de distribuições espaciais de intensidade de uma chuva.

c) Método das isoietas

Exige o traçado das isoietas (lugar geométrico dos pontos com a mesma quantidade de precipitação num determinado intervalo de tempo). Podem ser desenhadas para um determinado evento de precipitação ou para um determinado período

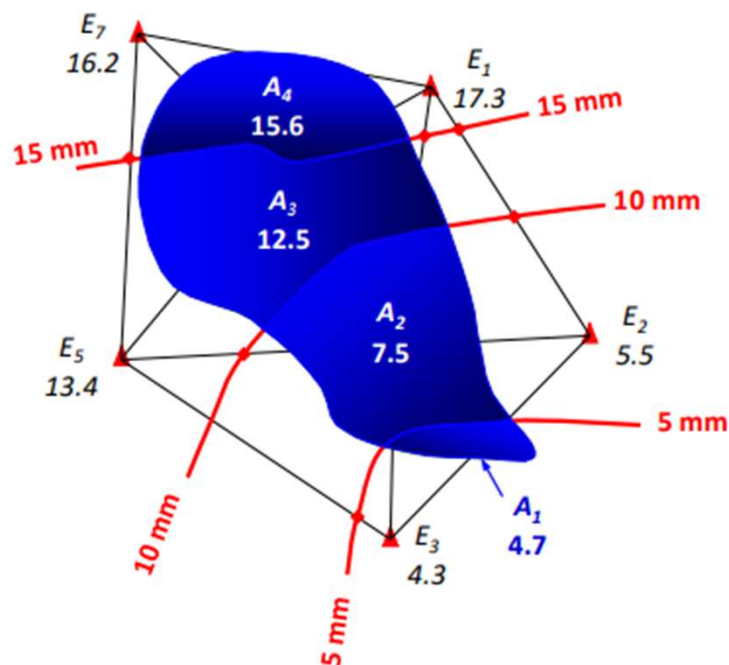


Figura 9 Exemplo do método das isoietas

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

$$\alpha_i = \frac{\text{área entre as isoietas } i \text{ e } i+1}{\text{área total}}$$

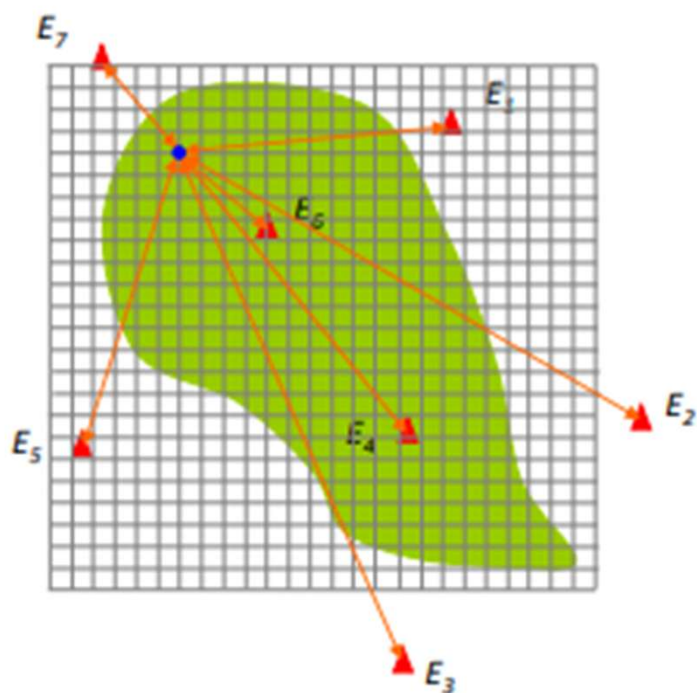
Considerações

- 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.

d) 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

$$P_{nó} = \frac{\sum_{i=1}^{N_e} \frac{P_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^{N_e} \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad N_e \text{ nº de estações}$$

d_i = distância entre os nós e a estação i

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=1}^{N_n} P_{nó j}}{N_n} \quad N_n \text{ nº de nós}$$

Caracterização

- Intensidade
- Duração
- Frequência (período de retorno)

Intensidade média de precipitação, p (mm h⁻¹)

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

- $p < 1 \text{ mm h}^{-1}$ ligeira
- $1 \text{ mm h}^{-1} < p < 4 \text{ mm h}^{-1}$ moderada
- $p > 4 \text{ mm h}^{-1}$ intensa



- cheias e processos erosivos
- dimensionamento de estruturas hidráulicas
 - sistemas de drenagem superficial
 - descarregadores de cheia das barragens

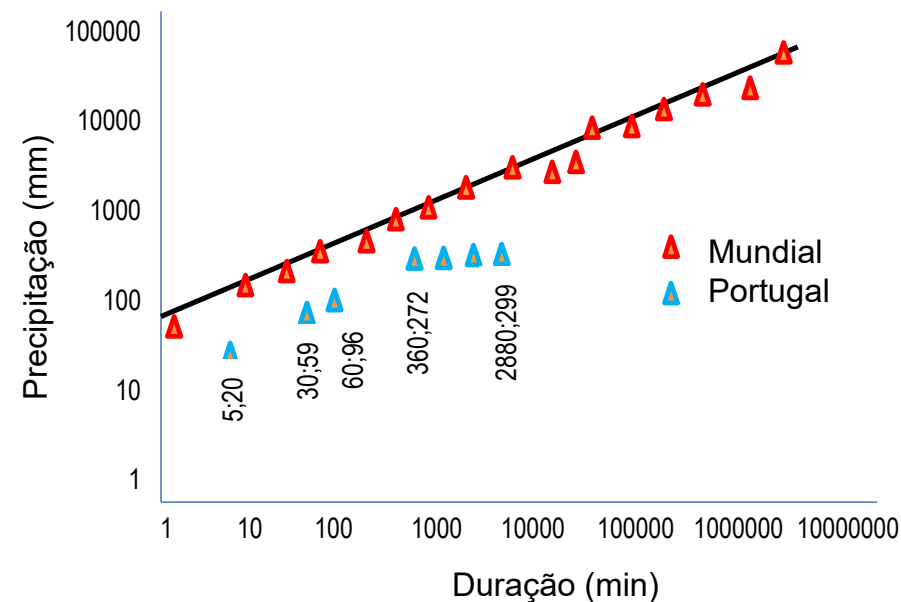
PRECIPITAÇÕES DE GRANDE INTENSIDADE



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

Duração	Precipitação (mm)	Intensidade média (mm h ⁻¹)	Local	Data de início
1 min	38	2 280	Barot, Guadalupe	26-10-1970
8 min	126	945	Fussen, Baviera	25-05-1920
15 min	198	792	Plumb Point, Jamaica	12-05-1916
20 min	206	618	Curtea-de-Arges, Roménia	07-07-1947
42 min	305	436	Holt, Missouri	22-06-1947
2h 10 min	483	223	Rockport, Virginia Ocidental	18-07-1889
2h 45 min	559	203	D'Hanis, Texas	31-05-1935
4h 30 min	782	174	Smethport, Pensilvânia	18-07-1942
9h	1 087	121	Belouve, La Réunion	28-02-1964
12h	1 340	112	Belouve, La Réunion	28-02-1964
18h 30 min	1 689	91	Belouve, La Réunion	28-02-1964
24h	1 825	76	Foc Foc, La Réunion	15-03-1952
2 d	2 259	47	Hsin Liao, Taiwan	17-10-1967
3 d	2 759	38	Cherrapunji, Índia	12-09-1974
4 d	3 721	39	Cherrapunji, Índia	12-09-1974
8 d	3 847	20	Bellenden Ker, Queensland	01-01-1979
15 d	4 798	13	Cherrapunji, Índia	24-06-1931
31 d	9 300	13	Cherrapunji, Índia	jun 1861
2 meses	12 767	9	Cherrapunji, Índia	jun 1861
3 meses	16 369	7	Cherrapunji, Índia	mai 1861
4 meses	18 738	6	Cherrapunji, Índia	abr 1861
5 meses	20 412	6	Cherrapunji, Índia	abr 1861
6 meses	22 454	5	Cherrapunji, Índia	abr 1861
11 meses	22 990	3	Cherrapunji, Índia	jun 1861
1 ano	26 461	3	Cherrapunji, Índia	ago 1860
2 anos	40 768	2	Cherrapunji, Índia	jan 1860

Recordes de precipitação em função da duração



Embora **P** seja **crescente** com Δt , a **intensidade de precipitação diminui** com a duração

Período de retorno (T): tempo médio entre a ocorrência de eventos hidrológicos, da mesma natureza, de igual magnitude.

Na hidrologia, os períodos de retorno de diferentes projetos variam tipicamente de **10 a 100 anos**

A escolha do período de retorno de um evento hidrológico depende de vários fatores, incluindo:

- *área de drenagem*
- *risco de falha*
- *importância da estrutura e custo de reparação*
- *influência sobre vidas humanas*

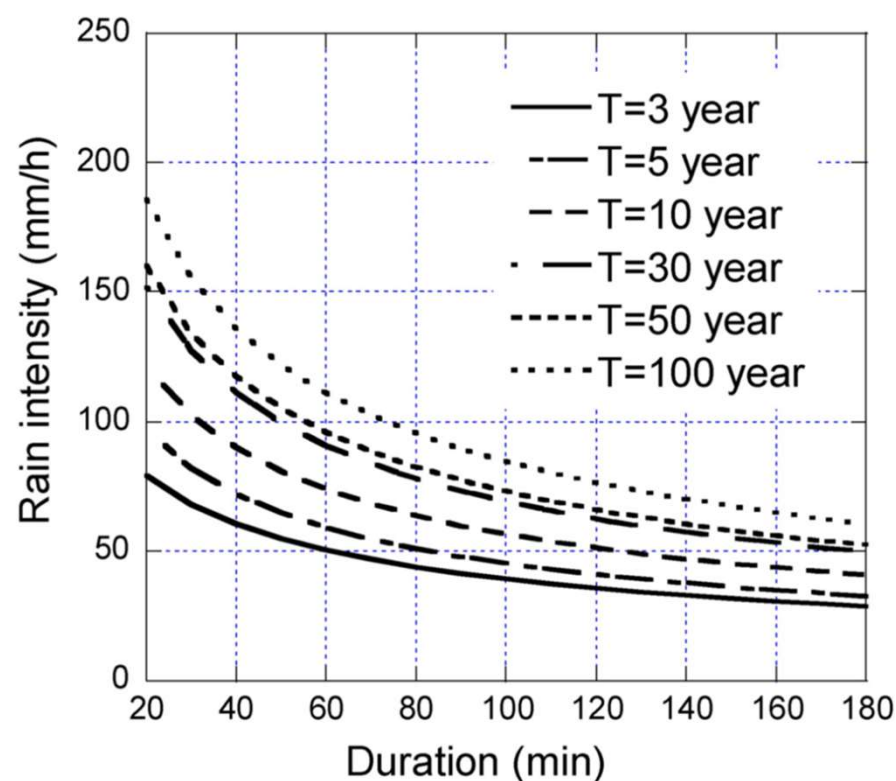
O valor correspondente a um determinado período de retorno é determinado por via estatística, recorrendo a distribuições de valores extremos, tal como a **distribuição de Gumbel**



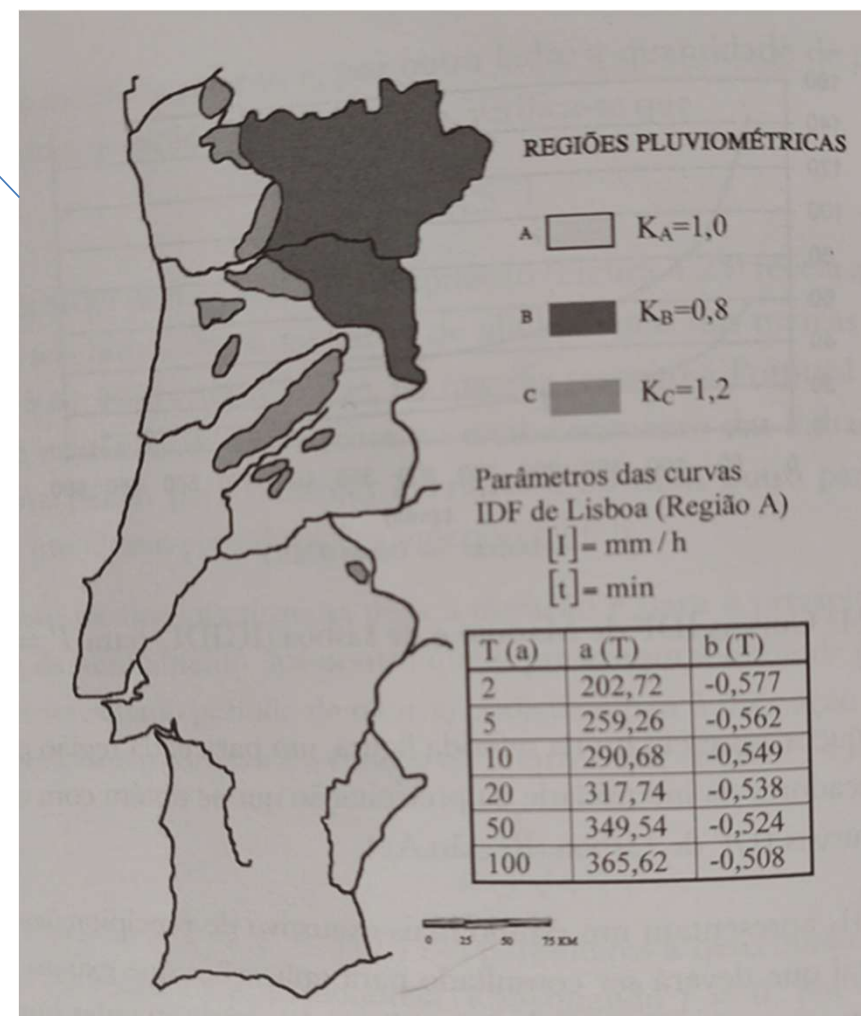
Exemplos de escolha do período de retorno

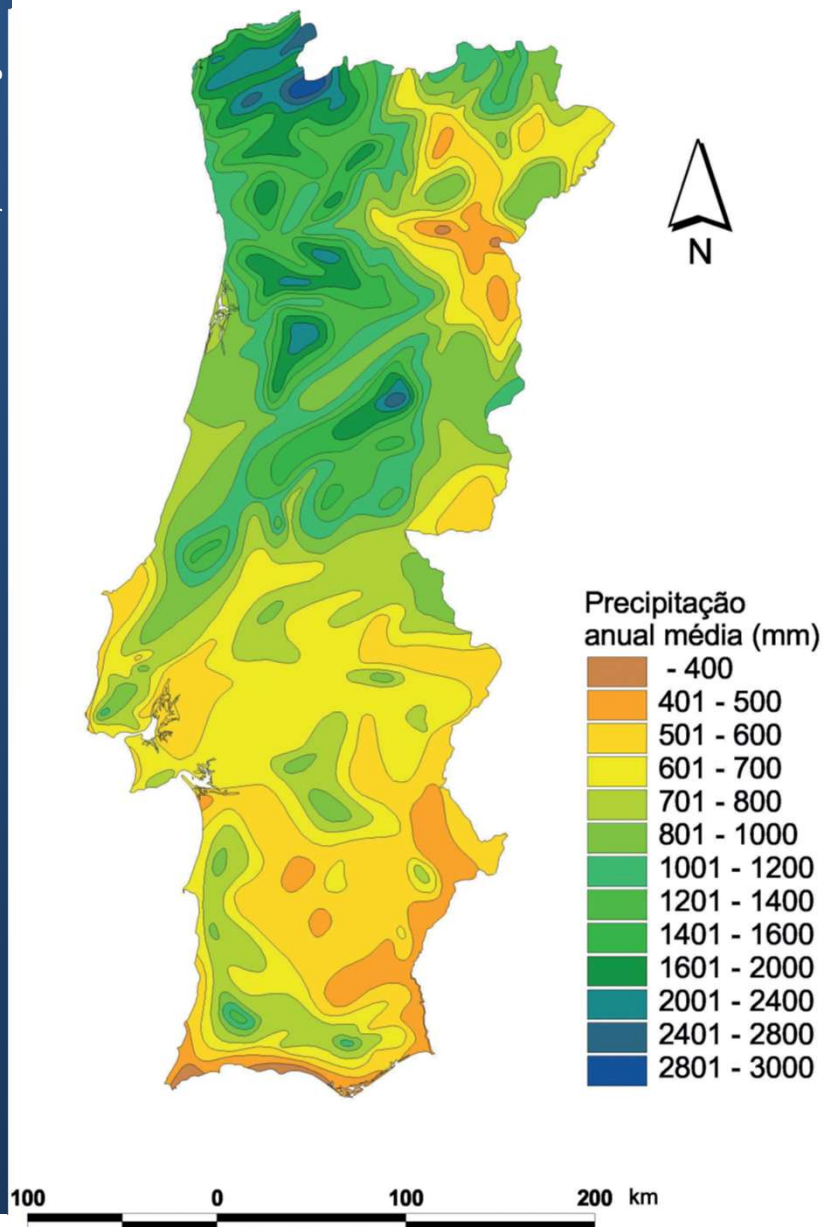
N.	Tipo de projeto ou estrutura	Período de retorno (anos)
1	Drenagem urbana [risco baixo] (até 100 ha)	5 a 10
2	Drenagem urbana [risco médio] (mais de 100 ha)	25 a 50
3.	Drenagem de ruas	25 a 50
4	Descarregadores (barragens)	25 a 100
5	Drenagem de estradas	50 a 100
6	Diques de contenção [risco médio]	50 a 100
7	Drenagem urbana [risco alto] (mais de 1000 ha)	50 a 100
8	Desenvolvimento de planície de inundação	100
9	Projetos de pontes (pilares)	100 a 500
10	Diques de contenção [risco alto]	200 a 1000
11	Descarregadores de emergência (barragens)	100 a 10 000

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 $\Rightarrow$ IDF $p(t, T) = a_T t^{b(T)}$



p é a intensidade de precipitação, t é a duração da chuvada e T é o tempo de retorno





ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES ANUAIS, MENSAIS, DIÁRIAS

❖ Variação espacial da precipitação

Representação com mapas de isoietas
(isolinhas de precipitação)

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

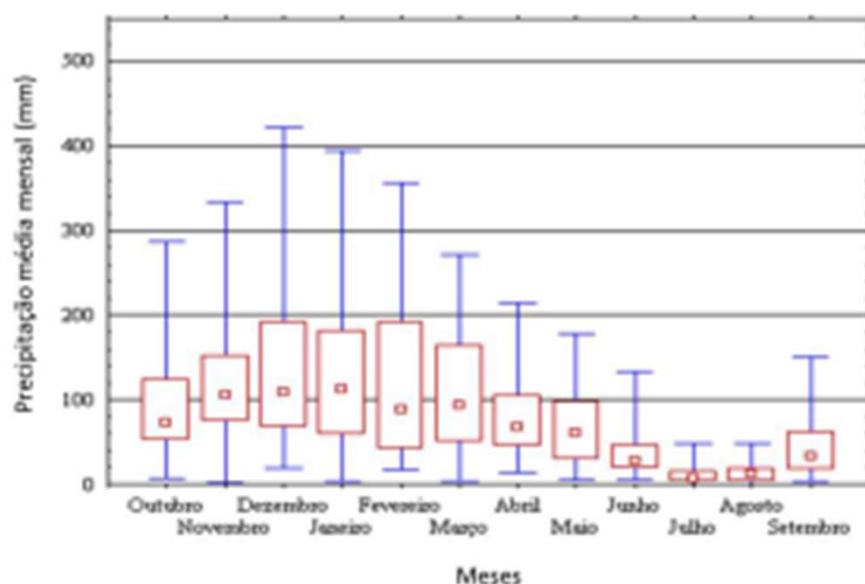
- Portugal tem precipitação média anual da ordem dos 700 mm mas
- a distribuição *irregular no espaço* gera mais problemas de escassez de água no sul e interior centro e norte.

❖ Variação temporal da precipitação

➤ Ao longo do ano hidrológico

➤ Ao longo de um período histórico

● representação com caixa-e-bigodes

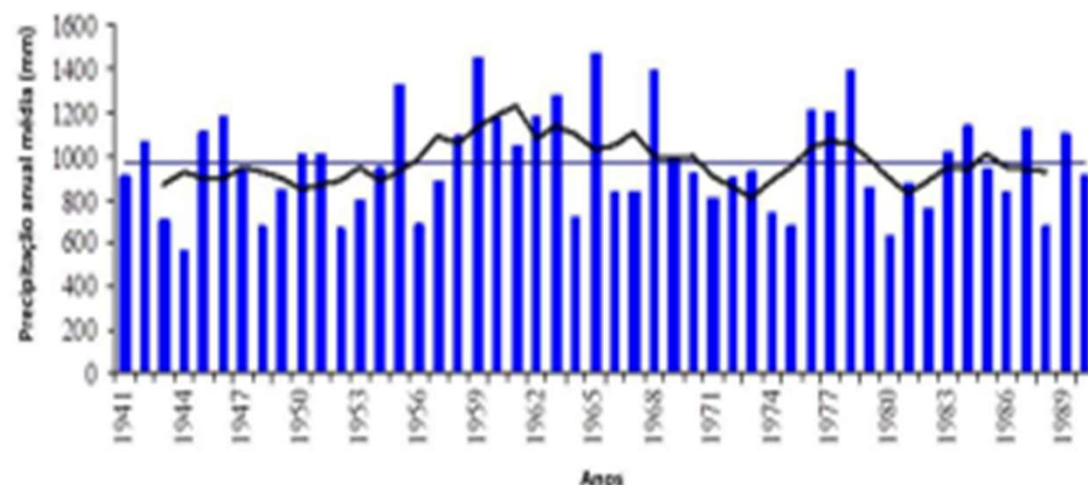


Precipitação média mensal em PT continental (INAG, 2001)

a distribuição **irregular no tempo** gera problemas de escassez de água no período de Abril a Setembro

➡ Regularização intra-anual

● representação em gráficos de barras,



Precipitação anual média em PT continental no período 1942 a 1991 e média móvel de 2 anos (INAG, 2001)

➡ Regularização inter-anual