

A PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DE COIMBRA

Estudo baseado na digitalização de série hidrográfica com cerca de 70 anos

por

Luís M. David e Rita F. Carvalho

Investigador Auxiliar - LNEC

Prof. Auxiliar - Universidade de Coimbra



A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Dados existentes actualmente

Localização - Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC)

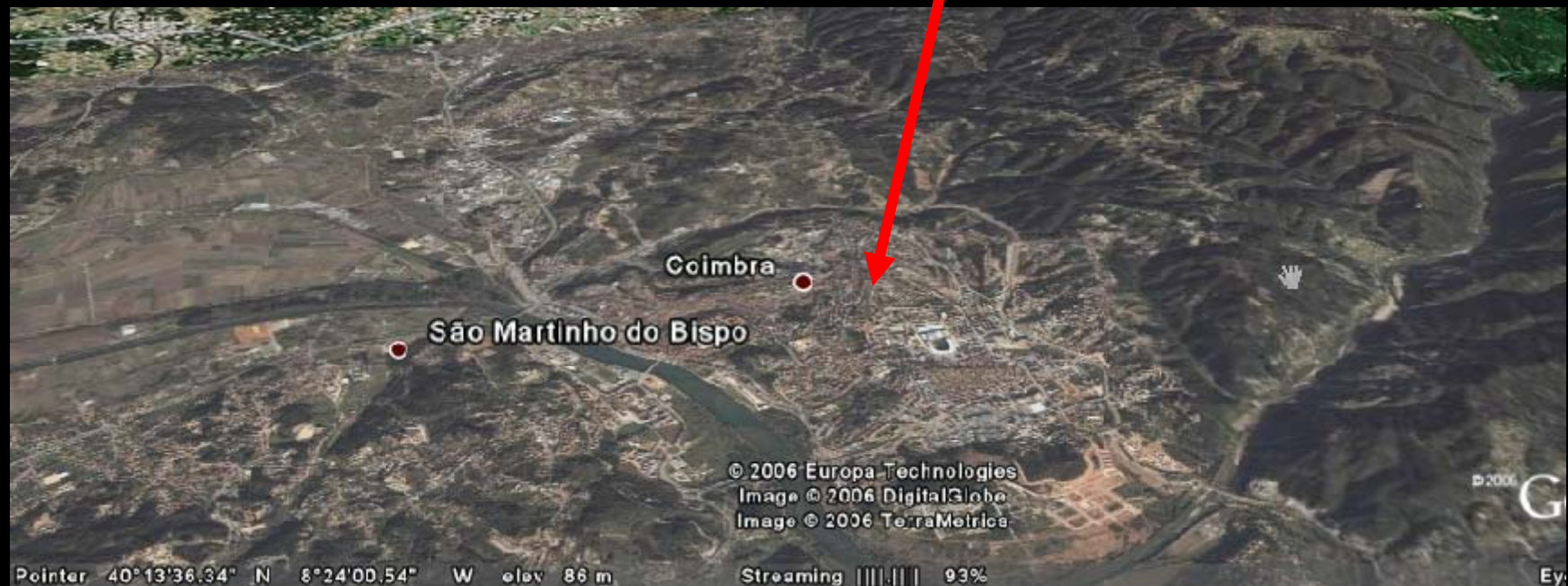


Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Dados existentes actualmente

Localização - Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC)



U



C

.

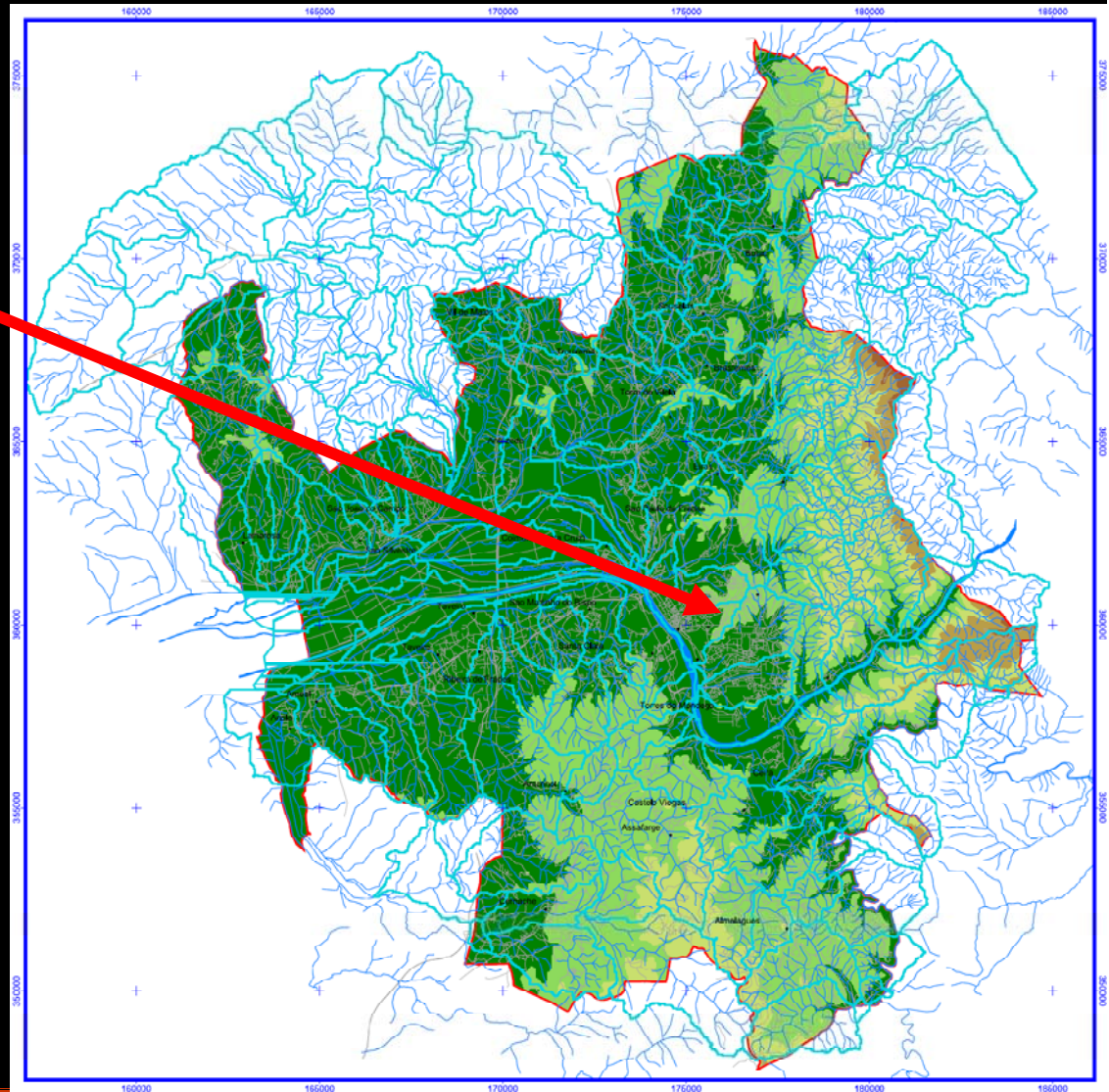
Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Localização - Instituto
Geofísico da Universidade
de Coimbra (IGUC)
(141 m de altitude)

elementos cartográficos

- relevo mais acentuado a este-nordeste,
- altitude intermédia a sul
- menor altitude a oeste-centro-oeste, zona do Baixo Mondego



U



C

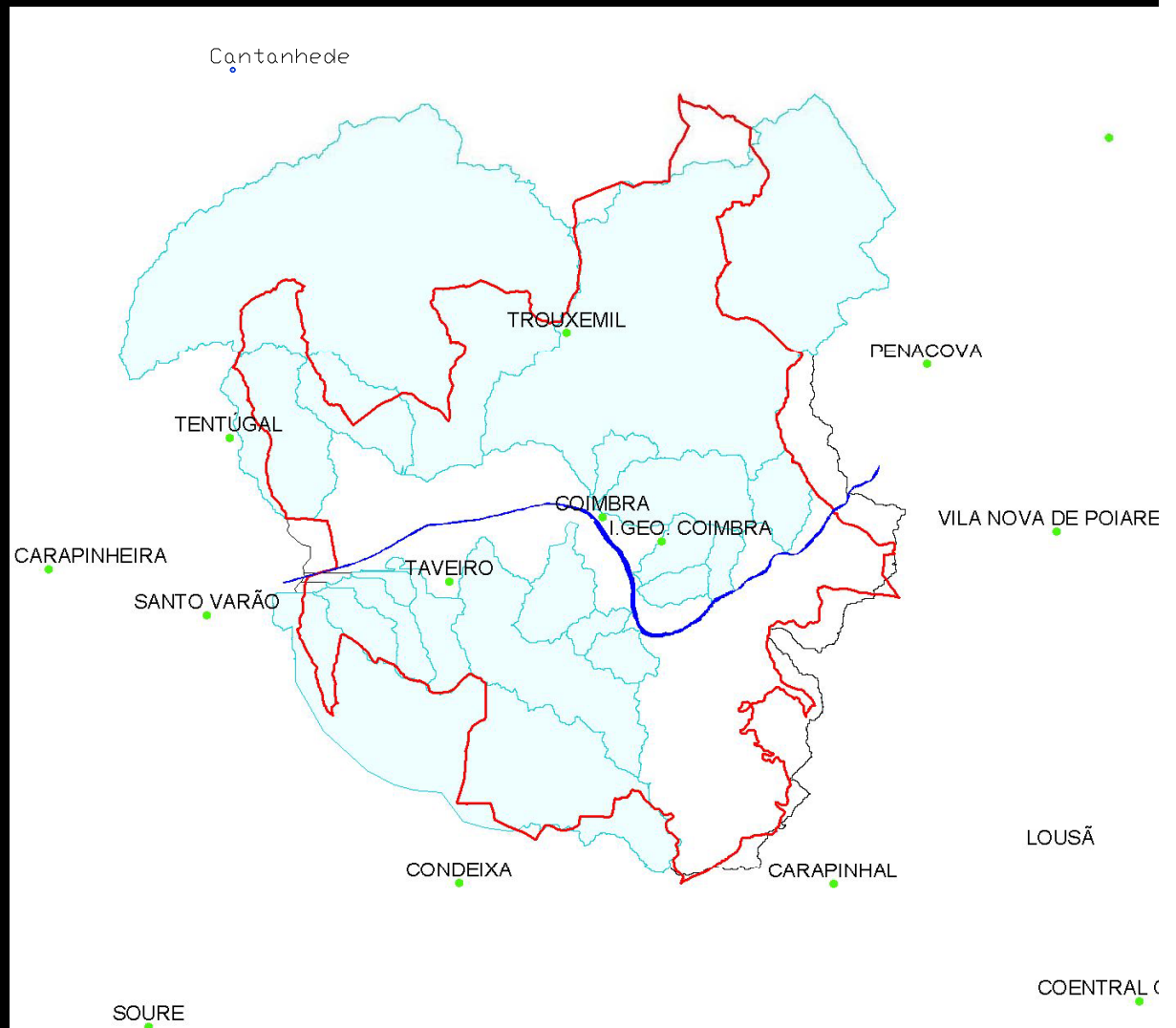
.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Precipitação – postos udométricos existentes

- Precipitação anual,
- Precipitação mensal,
- Precipitação máxima diária anual (excepto Penacova),
- Precipitação diária
- Precipitação contínua (Posto IGUC)

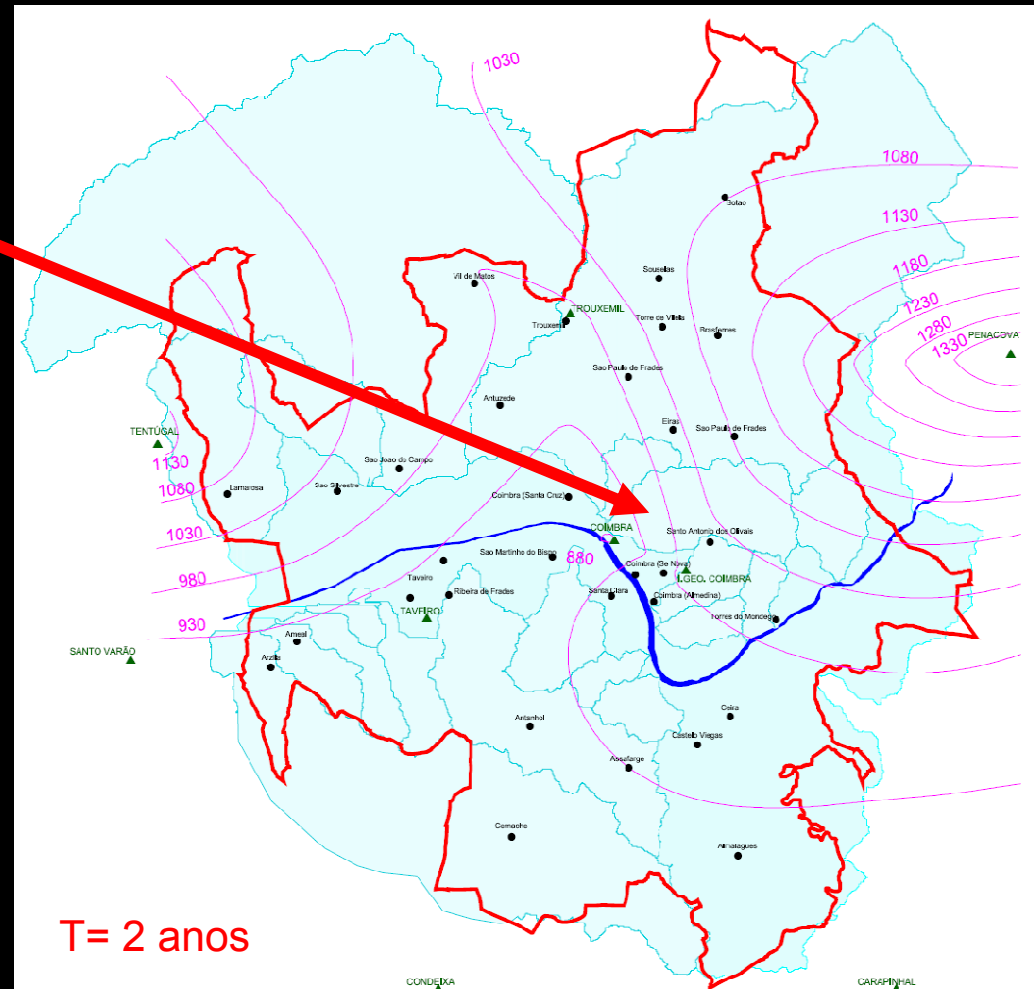


A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Localização - Instituto
Geofísico da Universidade
de Coimbra (IGUC)
(141 m de altitude)

elementos cartográficos

- relevo mais acentuado a este-nordeste,
- altitude intermédia a sul
- menor altitude a oeste-centro-oeste, zona do Baixo Mondego



T= 2 anos



U



C

.

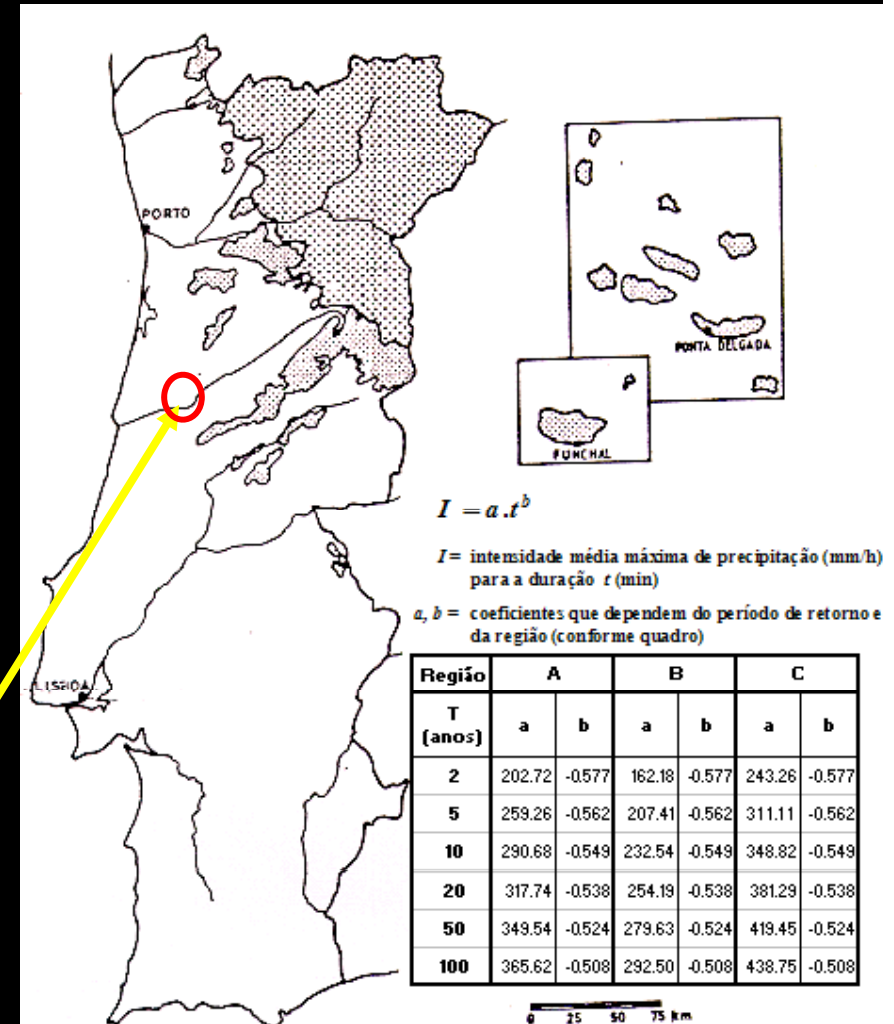
Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Antecedentes curvas IDF

MATOS e SILVA (1986)
→ *Regulamento Geral
de Sistemas Públicos e
Prediais de Distribuição
de Água e de Drenagem
de Águas Residuais*
(Anexo IX).

Coimbra pertence à região A



• U



C •

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Antecedentes

relação intensidade-duração-frequência (curvas IDF)

MATOS e SILVA (1986) obtiveram curvas intensidade-duração-frequência para Portugal (curvas IDF), do tipo $i = a.t^b$, para três regiões distintas - zonas de máxima intensidade pluviométrica



com base nos dados udográficos de 21 postos, 11 dos quais com precipitação inferior a uma hora (não o caso de Coimbra - IGUC)

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Antecedentes curvas IDF

BRANDÃO *et al.* (2001),
(registos de 27 postos
udográficos e digitalização
sistemática da maioria
deles) apresentaram novas
curvas IDF



as de **Coimbra** foram
calculadas utilizando uma
série com 31 anos, mas a
partir de leituras discretas
com **passo fixo de 1 hora**.

Parâmetros das curvas IDF do segundo trecho (válida entre as durações 30 min e 6 h).												
Posto udográfico	Períodos de retorno (anos)											
	2		5		10		20		50		100	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Casal Soeiro	206.29	-0.533	347.51	-0.581	445.15	-0.602	541.43	-0.617	666.76	-0.632	765.64	-0.640
Vila da Ponte												
Bragança												
Miranda do Douro	243.20	-0.699	467.22	-0.766	630.14	-0.793	793.34	-0.812	1011.70	-0.830	1179.10	-0.841
Vila Real												
Chaves	211.55	-0.691	390.39	-0.753	520.77	-0.779	651.83	-0.798	827.78	-0.817	963.14	-0.828
Amaraente												
Cerejaia												
Escalhão												
Viana do Castelo	281.33	-0.624	545.43	-0.704	742.80	-0.738	943.80	-0.762	1216.60	-0.786	1428.20	-0.800
Porto (Serra do Pilar)												
Aveiro (Universidade)	253.70	-0.654	361.63	-0.683	435.95	-0.697	508.78	-0.707	604.76	-0.718	677.67	-0.725
Viseu												
Caramulo	118.17	-0.416	186.42	-0.466	235.34	-0.489	284.34	-0.507	350.11	-0.526	400.79	-0.537
Sta Comba Dão	241.72	-0.641	378.45	-0.663	470.50	-0.672	559.43	-0.678	675.14	-0.684	762.16	-0.687
Penhas Douradas	148.88	-0.499	297.38	-0.579	409.76	-0.613	524.90	-0.638	681.88	-0.662	804.03	-0.676
Covilhã	138.14	-0.493	194.75	-0.521	233.27	-0.535	270.74	-0.545	319.82	-0.555	355.92	-0.562
Coimbra (IG)	280.69	-0.653	374.38	-0.647	436.65	-0.644	496.49	-0.643	574.03	-0.641	632.17	-0.640
Gralhas	229.22	-0.581	361.34	-0.604	453.73	-0.623	544.85	-0.637	665.47	-0.651	757.34	-0.660
Lisboa (IGIDL)	251.82	-0.628	345.32	-0.634	407.36	-0.637	466.92	-0.639	544.07	-0.641	601.92	-0.642
Lisboa (Portela)	359.15	-0.711	417.04	-0.685	461.54	-0.647	506.26	-0.634	565.82	-0.623	611.24	-0.616
S. João do Tojal	205.93	-0.596	238.70	-0.544	265.17	-0.525	292.01	-0.512	327.90	-0.500	365.32	-0.493
Setúbal												
Barragem de Castelo de Bode												
Portalegre	229.15	-0.622	389.81	-0.674	504.10	-0.697	617.67	-0.713	768.83	-0.729	884.39	-0.739
Barragem de Meios												
Pavia	237.28	-0.659	306.77	-0.647	353.20	-0.642	397.89	-0.639	455.90	-0.635	499.43	-0.633
Évora-Cemitério	386.51	-0.713	571.47	-0.735	709.63	-0.744	843.21	-0.751	1017.00	-0.757	1147.90	-0.761
Beja	303.85	-0.692	468.63	-0.727	581.81	-0.743	692.32	-0.754	837.37	-0.765	947.16	-0.772
Pêgo do Altar												
Sines	316.67	-0.719	416.93	-0.713	493.30	-0.711	546.97	-0.709	629.39	-0.707	691.15	-0.706
Relíquias	205.02	-0.658	484.95	-0.683	619.29	-0.691	748.90	-0.697	917.30	-0.702	1043.80	-0.705
Castrois *					350.73	-0.593			630.18	-0.595	745.31	-0.600
S. Brás de Alportel *					342.70	-0.575			569.55	-0.576	709.50	-0.577
Figueirais *					373.03	-0.579			748.70	-0.592	1006.60	-0.598
Praia da Rocha	254.91	-0.684	355.91	-0.700	441.75	-0.705	513.84	-0.711	607.46	-0.715	677.76	-0.718
Monchique	245.74	-0.566	312.01	-0.509	361.22	-0.491	403.85	-0.479	473.87	-0.469	522.31	-0.463
Sagres												
Faro	312.60	-0.679	475.42	-0.686	583.37	-0.688	686.94	-0.690	821.02	-0.691	921.51	-0.692
Vila Real de Sto António	342.68	-0.690	483.64	-0.694	577.01	-0.696	666.52	-0.697	782.29	-0.698	869.17	-0.699

* Digitalização não sistemática (DNS)



• U



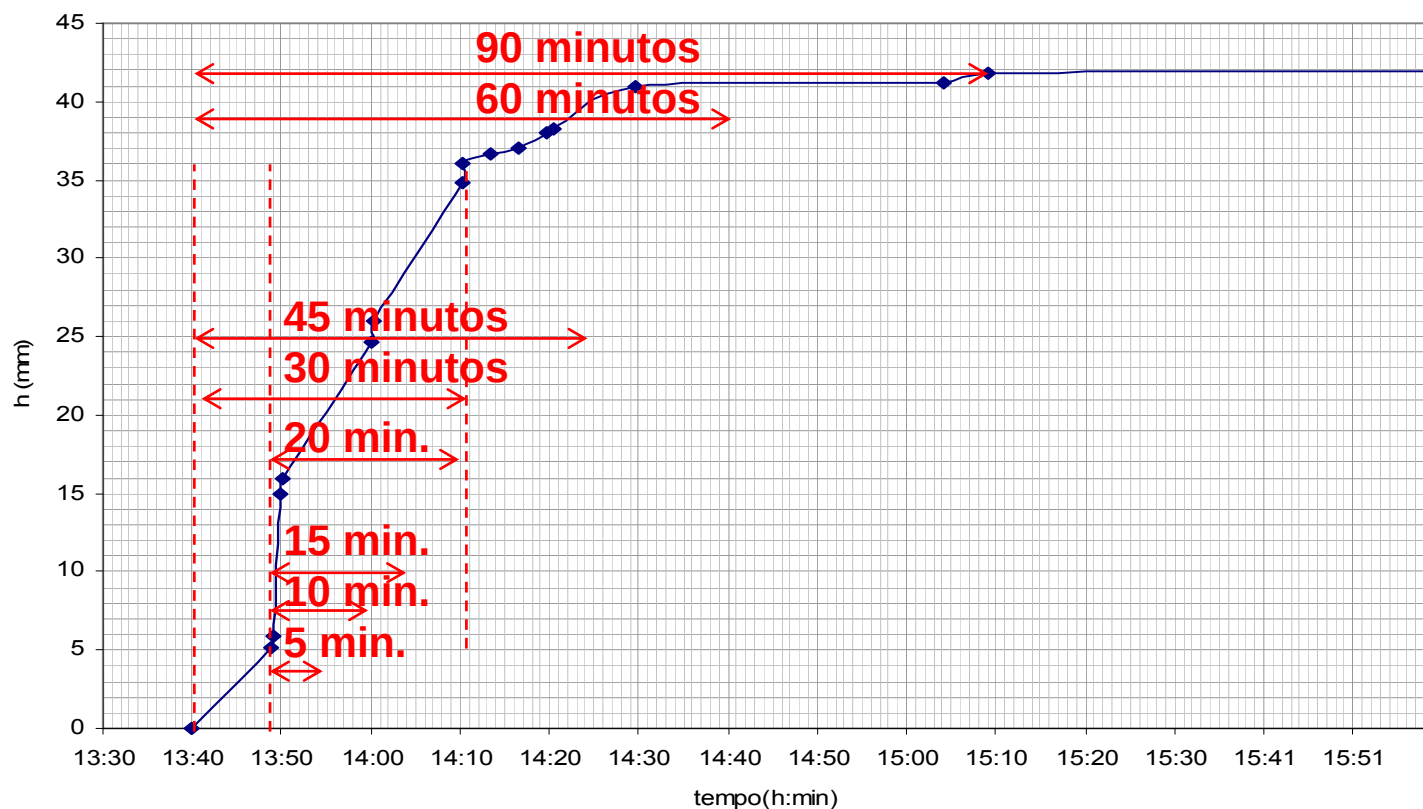
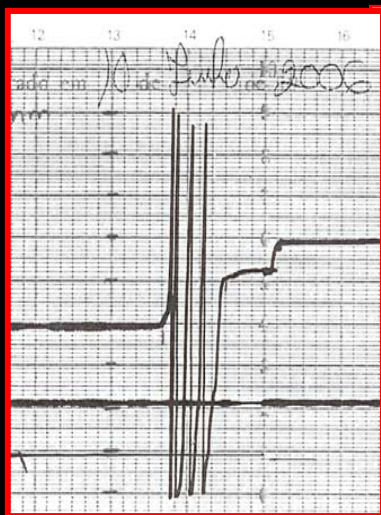
• C

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Precipitação – caracterização das precipitações intensas

→ Exemplo (udograma de 9-6-2006:9h a 10-6-2006:9h)



A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

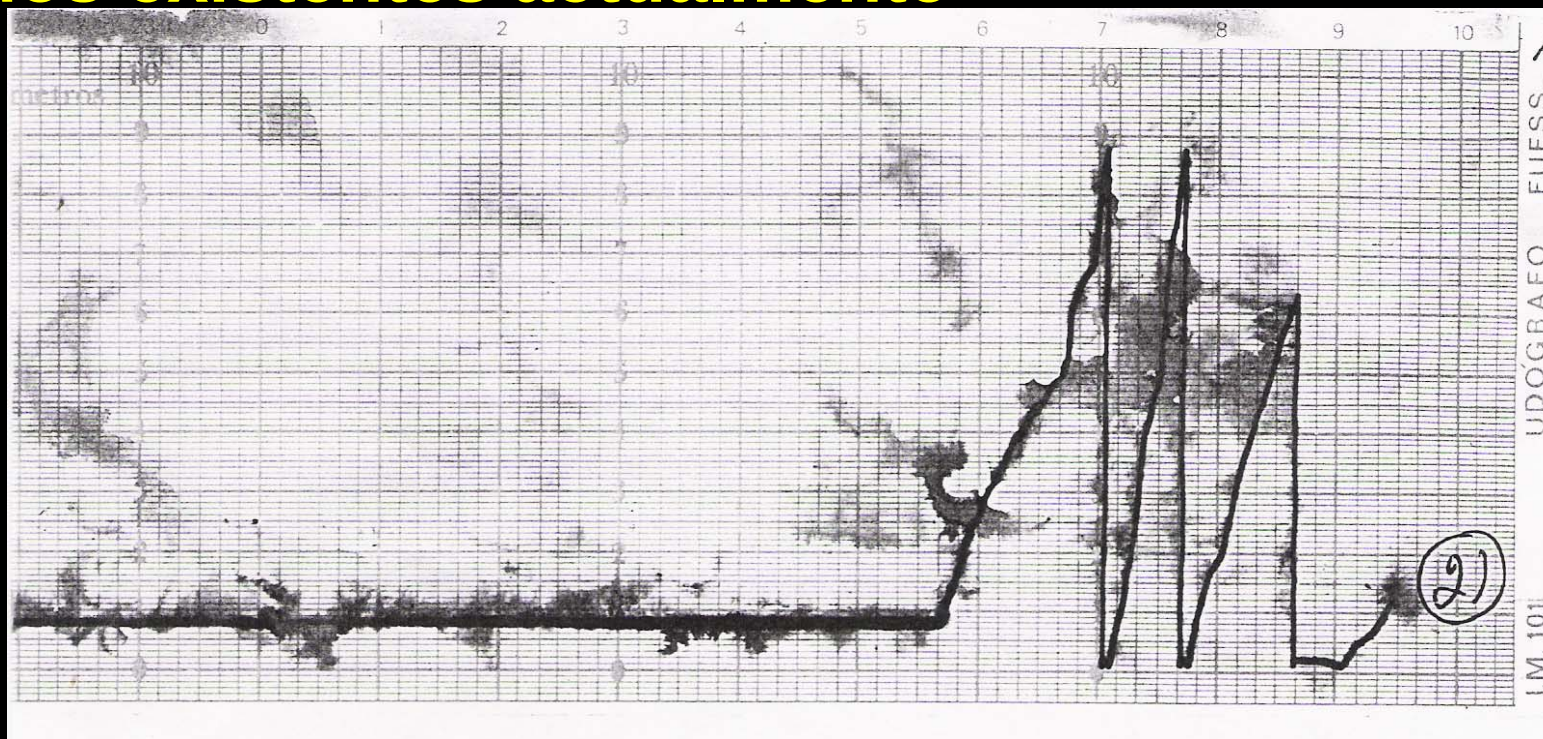
Dados existentes actualmente

O IGUC (1 de Setembro de 1864) cedeu os **udogramas diários** da sua estação climatológica (Latitude: 40° 12' 25" N; Longitude: 08° 25' 30" W; 141m de altitude)

- período de Maio de 1935 a Setembro de 2005
- não foram encontrados os udogramas relativos a alguns meses → **66 anos hidrológicos completos**
- para o estudo das precipitações intensas considerou-se o ano 1994/95 incompleto (anos hidrológicos com excepção de 1991/92 de 1993/94 e de 2004/2005) → **67 anos hidrológicos completos**

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Dados existentes actualmente



→ udógrafo de sifão INMG-100 → **25000 udogramas**



U



C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Metodologia

→ Digitalização

- utilização de meios informáticos, → análise automática dos udogramas digitalizados, (SIFDIA descrito em Hipólito e Macedo (1993) e BRANDÃO, 1995)

→ A qualidade da série

- análise das falhas ;
- comparação dos valores de precipitação obtidos após o processamento com os valores diários e anuais da série udométrica, podendo-se considerar muito boa.
- Análise dos registos
- Análise da homogeneidade com base nos postos vizinhos

→ Caracterização da série



U



C

.

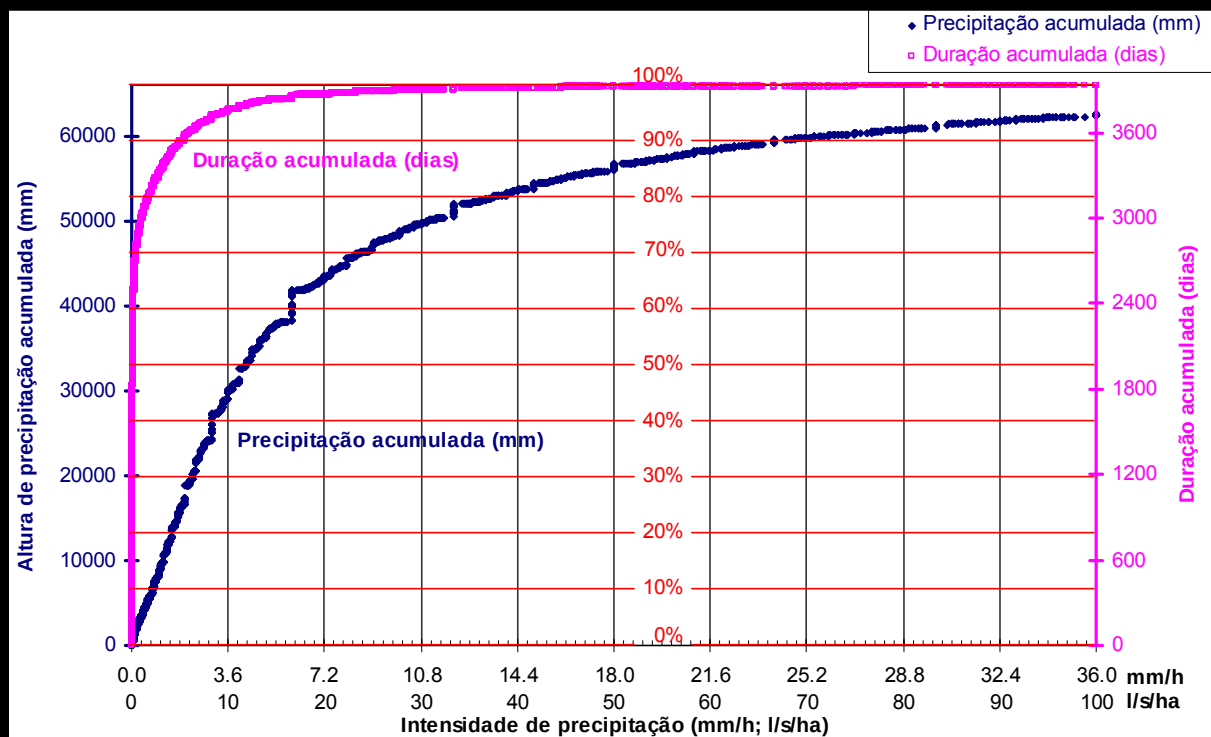
Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água

Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Análise dos registos

- ordenação dos registos por intensidades crescentes (int. < 36 mm/h)
- calculo das alturas e as durações acumuladas de precipitação



- Reg. intensidades elevadas de duração reduzida
- 90% da duração dos reg. prec. corresponde a int. < 1,85 mm/h e → 25% da alt. tot. prec.
- 70 % - $i < 8.5$ mm/h
- 80% - $i < 13.5$ mm/h
- 90 % - $i < 24$ mm/h



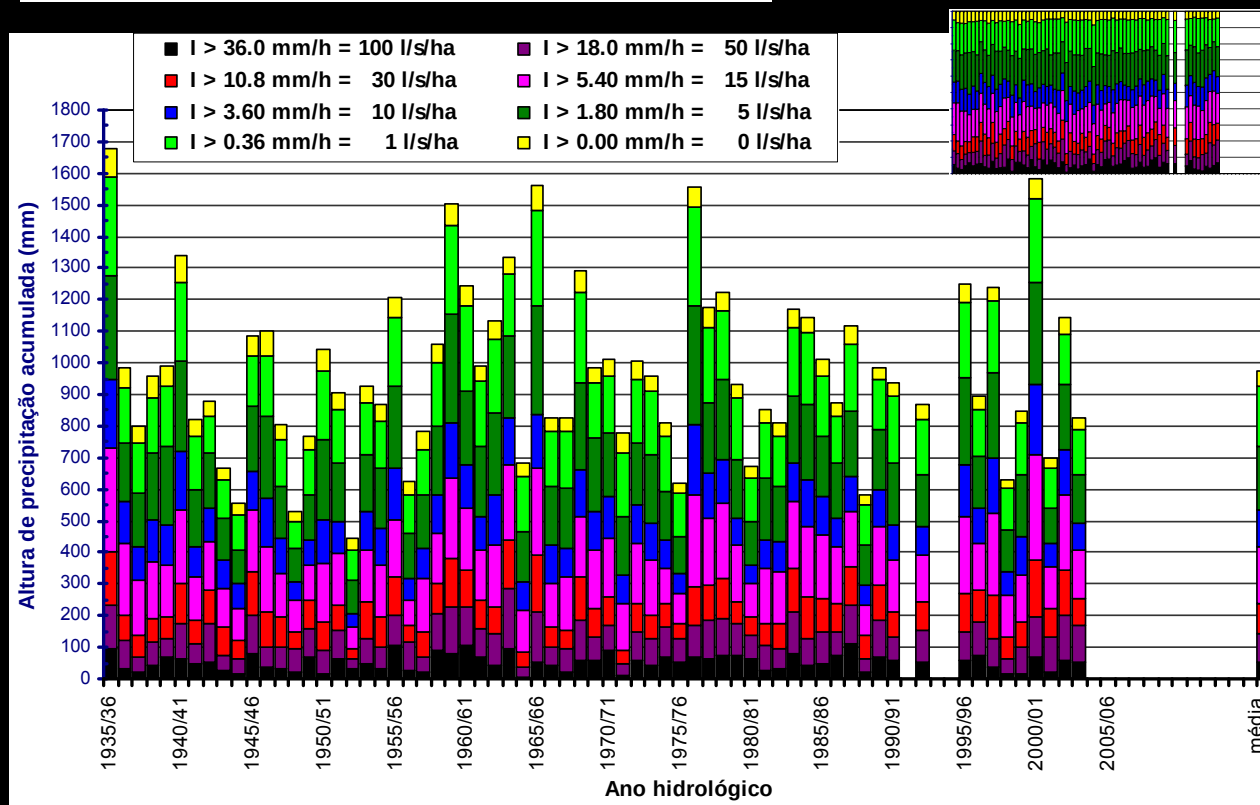
C



Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Análise dos registos - variação anual da altura de precipitação (66 AH) - para cada ano, ordenação por classes de intensidade da altura de precipitação 0, 1, 5, 10, 15, 30, 50 e 100 l/s/ha



→ Apesar da variação anual da alt.prec. e duração prec. ter algum significado, a dist. das classes de int. prec. varia pouco de ano para ano.



U



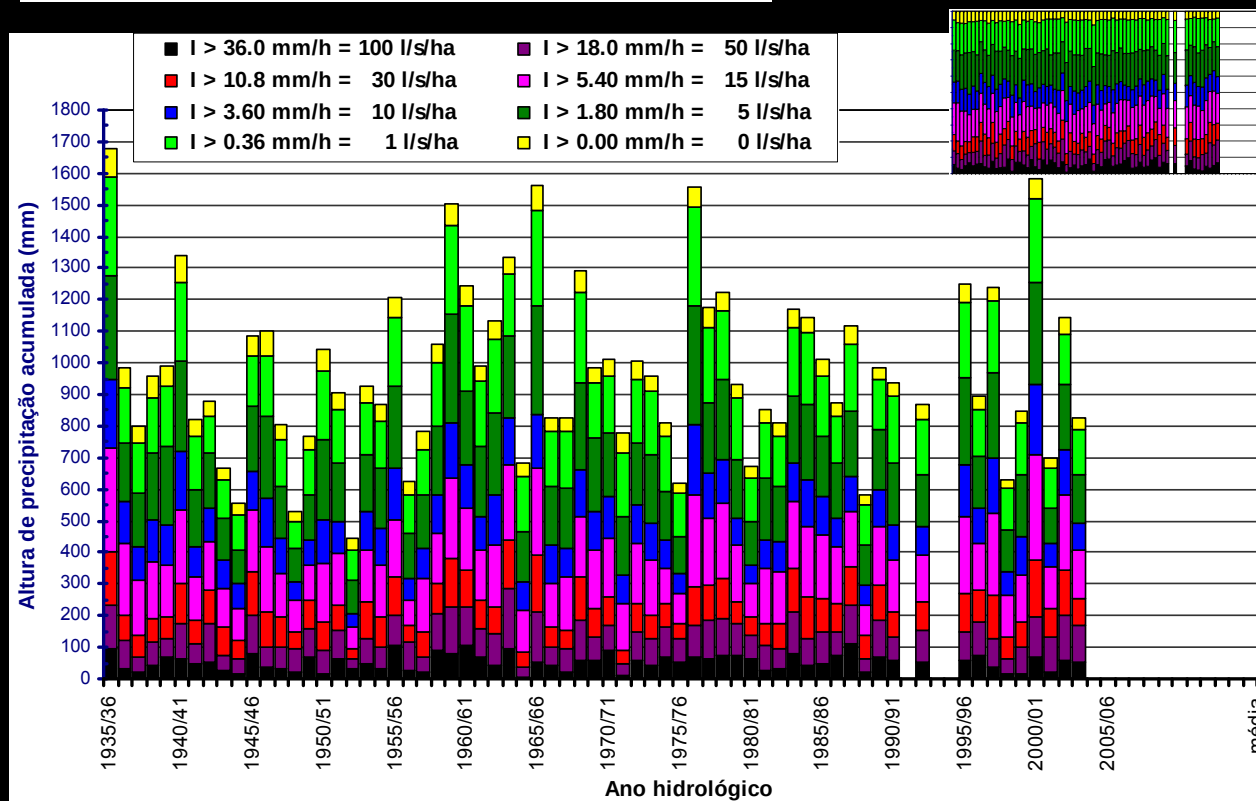
C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Análise dos registos - variação anual da altura de precipitação (66 AH) - para cada ano, ordenação por classes de intensidade da altura de precipitação 0, 1, 5, 10, 15, 30, 50 e 100 l/s/ha



→ gráf. valores das prec. acumulados nas diferentes classes de intensidade, vs val. das prec. acumuladas totais (método das massas duplas acumuladas) → linhas com andamento quase linear para todas as classes



U



C

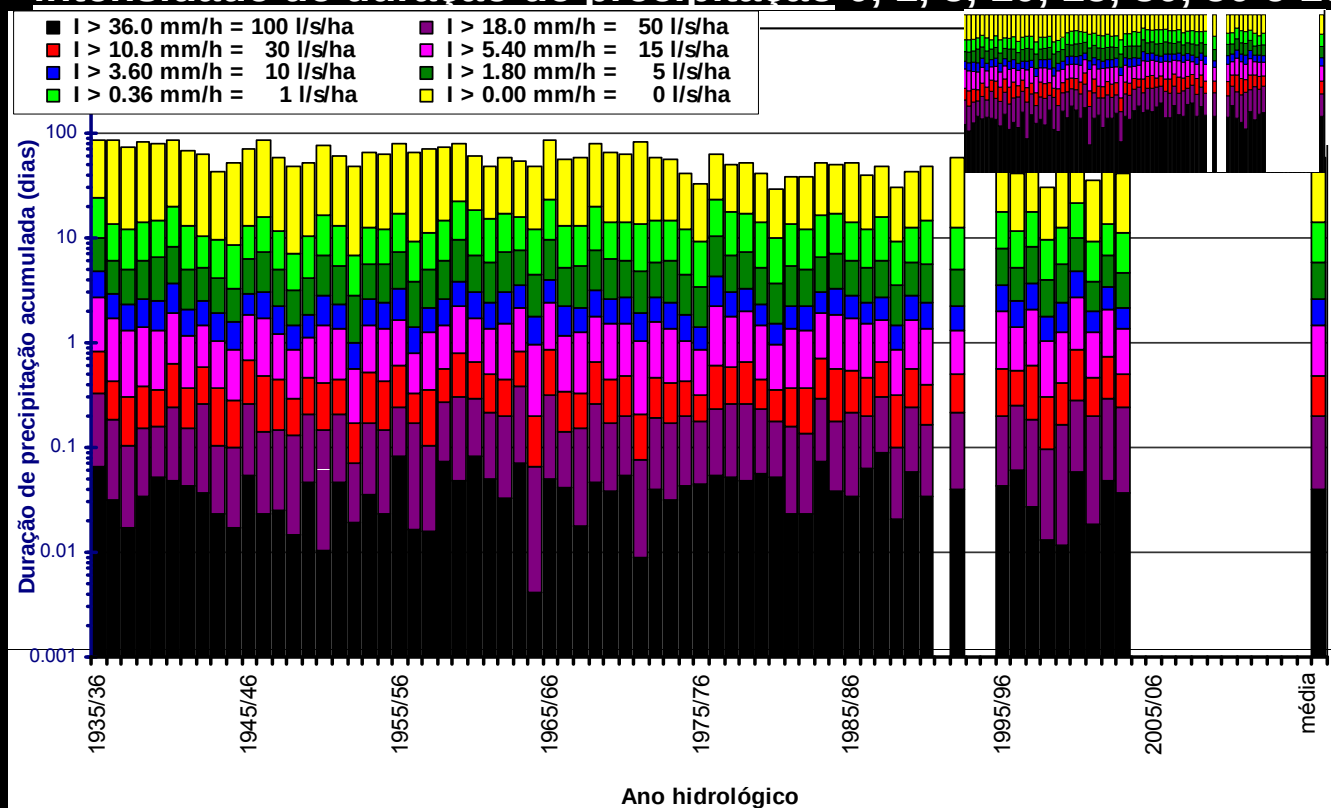
.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Análise dos registos - variação anual da duração de precipitação (66 AH) - para cada ano, ordenação por classes de

intensidade de duração de precipitação 0, 1, 5, 10, 15, 30, 50 e 100 l/s/ha



→ ligeira diminuição, no tempo, das dur. correspondentes à classe com menor int. de precipitação
→ 0,36 mm/h - 80% da duração total até ao ano 1958/59
→ 70% da duração total a partir desse ano (só ultrapassando 80% em 1971/72)



U



C

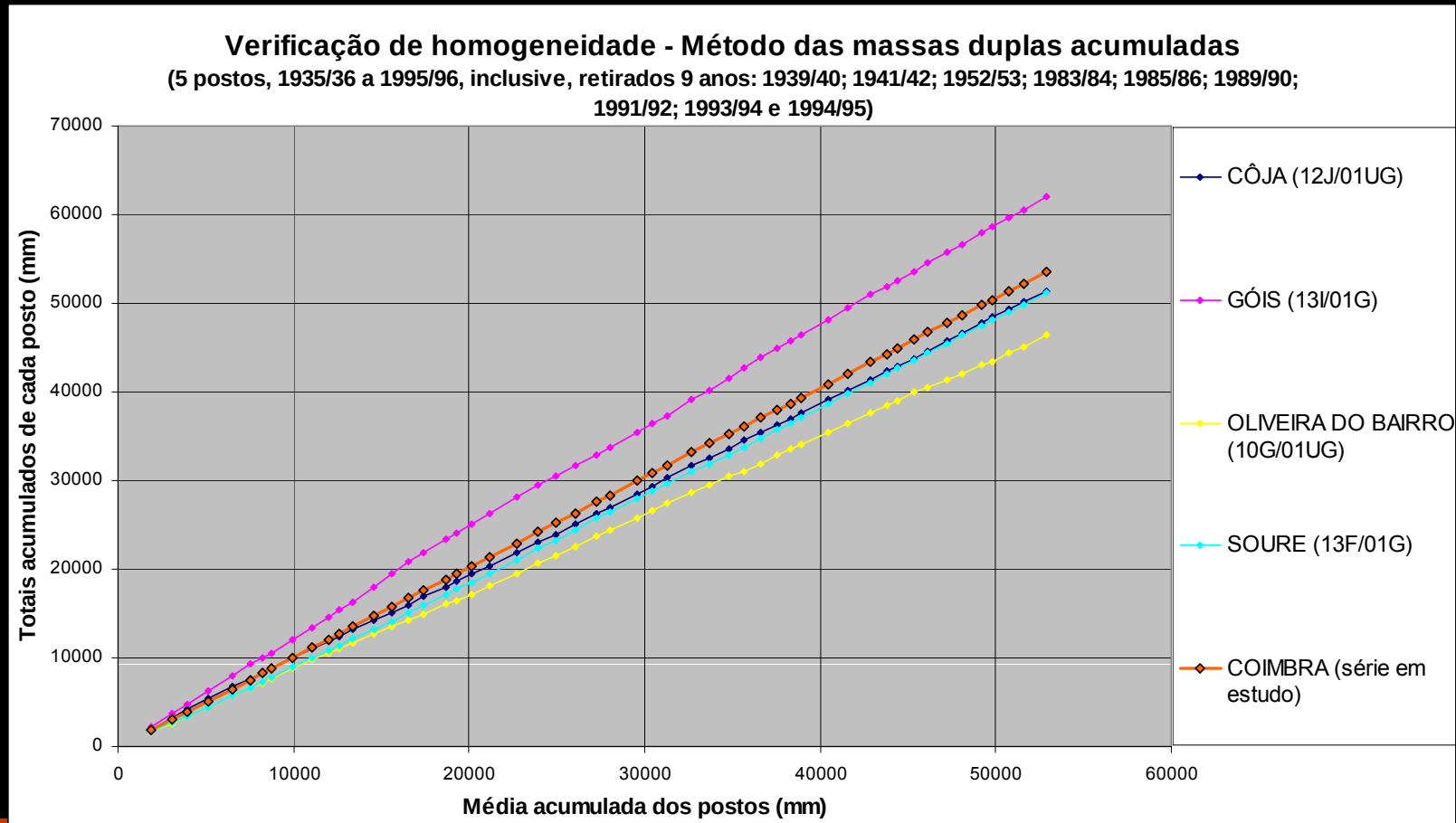
.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água

Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Análise dos val. anuais - verificação da homogeneidade
1935 até 1995 → linha da série do IGUC apresenta um declive particularmente estável.



U



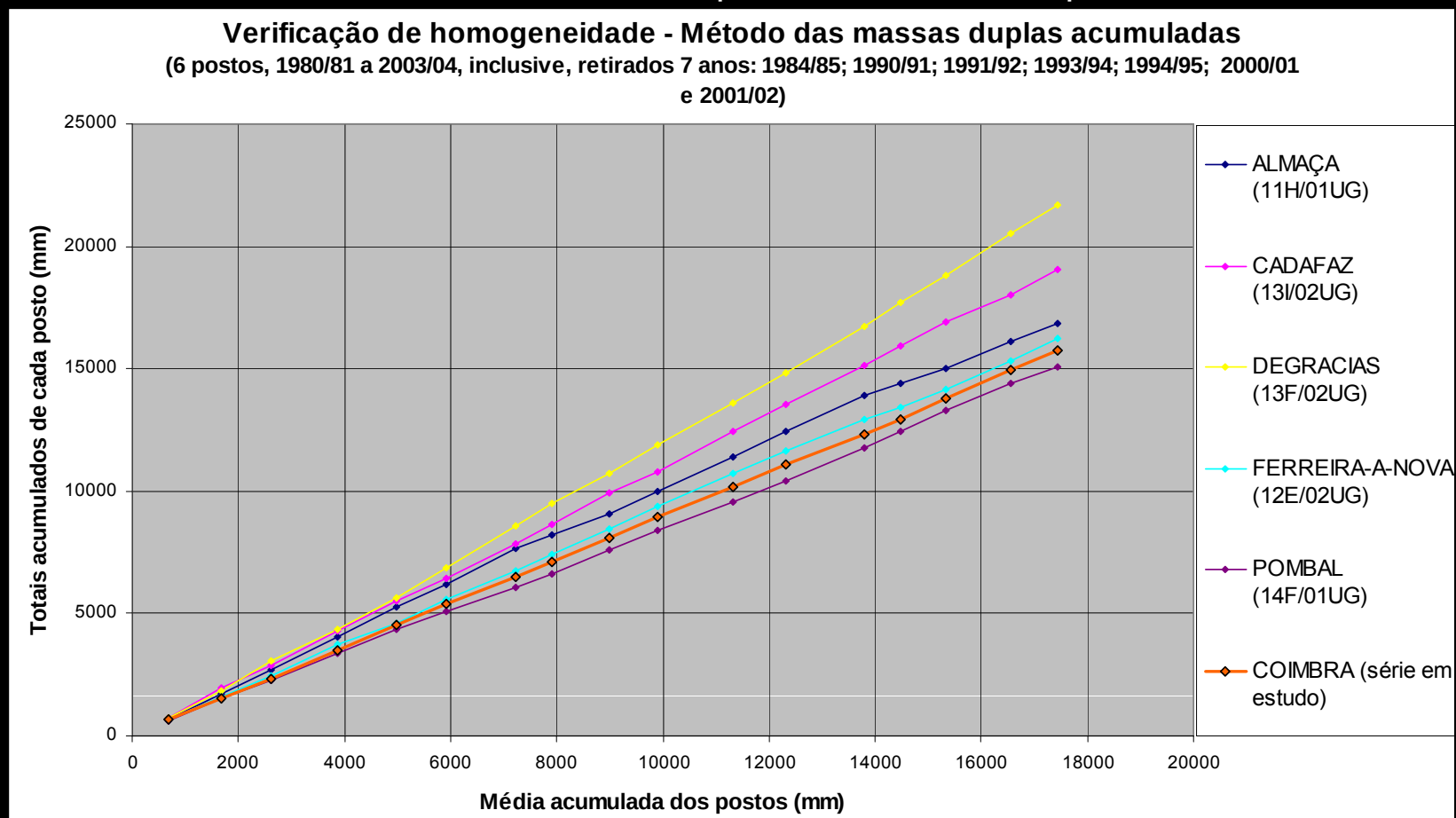
C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Análise dos val. anuais - verificação da homogeneidade
1980 até 2005 → linha da série do IGUC apresenta um declive particularmente estável.



U



C

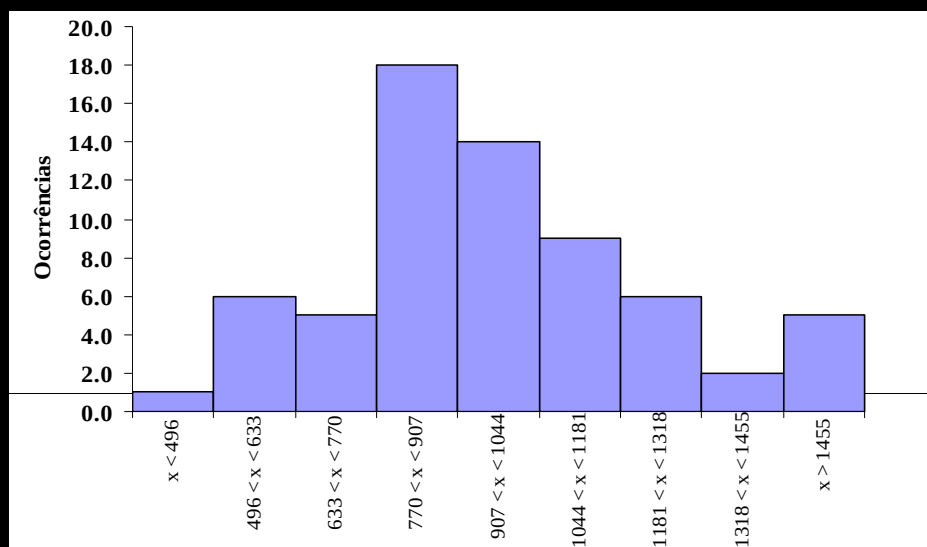
.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Caracterização da série - Valores anuais e mensais

- altura total de precipitação registada foi de 66 096 mm;
- média anual de 976 mm – val. entre 445 mm e 1678 mm;
- mediana é de 949 mm, inferior à média perto de 3%;
- desvio padrão é de 269 mm
- coeficiente de assimetria de 0.56



Lei normal aceite pelo teste do qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov, para um nível de significância de 0.05.

→ classe da moda é anterior à da média e da mediana

→ classe de val. + elevados de precipitação anual - frequência relativamente elevada, que dobra a da classe anterior



U



C

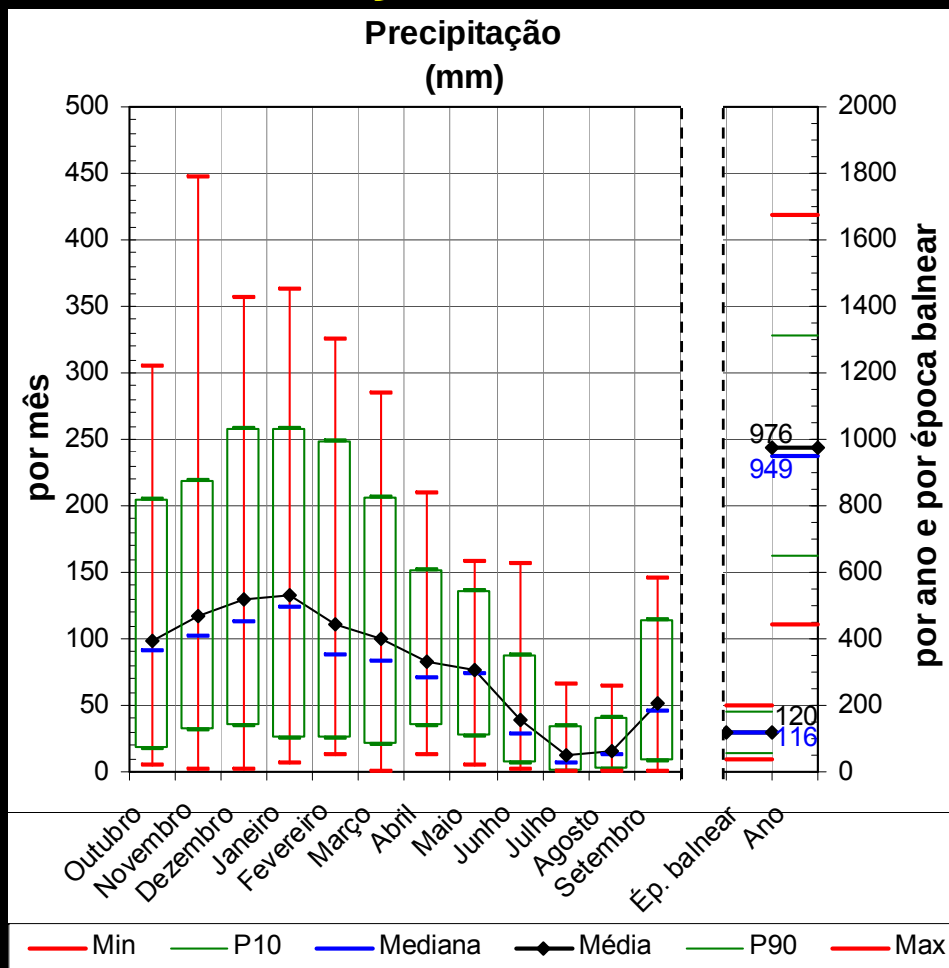
.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água

Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Caracterização da série - Valores anuais e mensais



→ em todos os meses o valor da mediana é inferior ao da média

→ Para a generalidade dos meses, os valores do percentil 90 e do máximo estão significativamente mais afastados da mediana do que os valores do percentil 10 e do mínimo, respectivamente



U



C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água

Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Divisão e Caracterização de eventos

Método de divisão – estabelecimento

1. uma intensidade máxima de precipitação abaixo da qual se admite estar em condições de tempo seco ($I_{\text{máx}TS}$) - **0,25 mm/h** ;
2. um intervalo mínimo de tempo seco ($D_{\text{mín}TS}$) a partir do qual se admite ter duas chuvadas independentes (uma antes e outra depois desse intervalo) - **6 horas** .

estimador da autocorrelação (Murteira e Turkman, 1993)

$$\bar{\rho}_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (I_t - \bar{I})(I_{t+k} - \bar{I})}{\sum_{t=1}^N (I_t - \bar{I})^2}$$



U



C

.

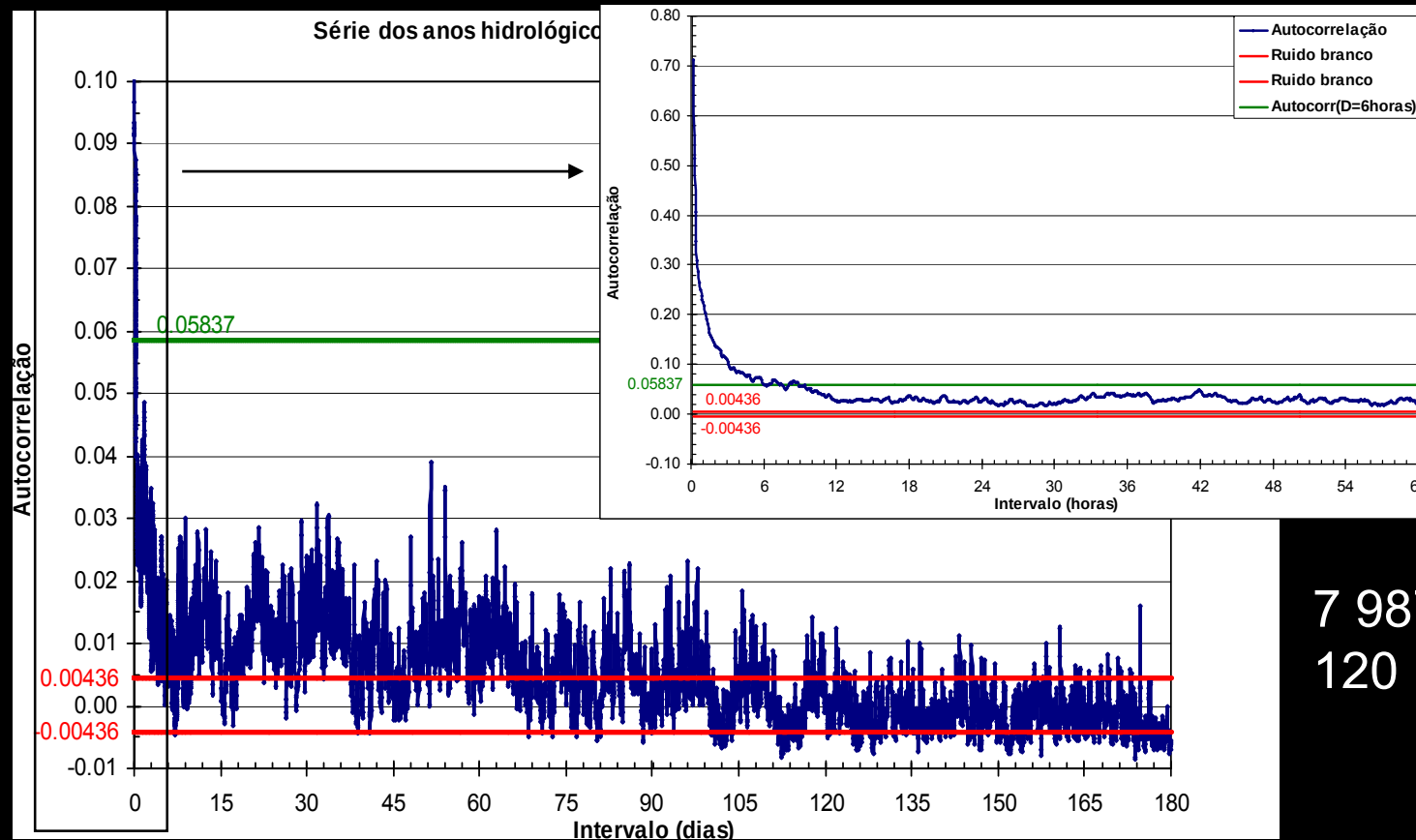
Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água

Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Divisão e Caracterização de eventos

Método de divisão – estabelecimento - decaimento significativo até as 6 horas



7 987 eventos -
120 por ano



U



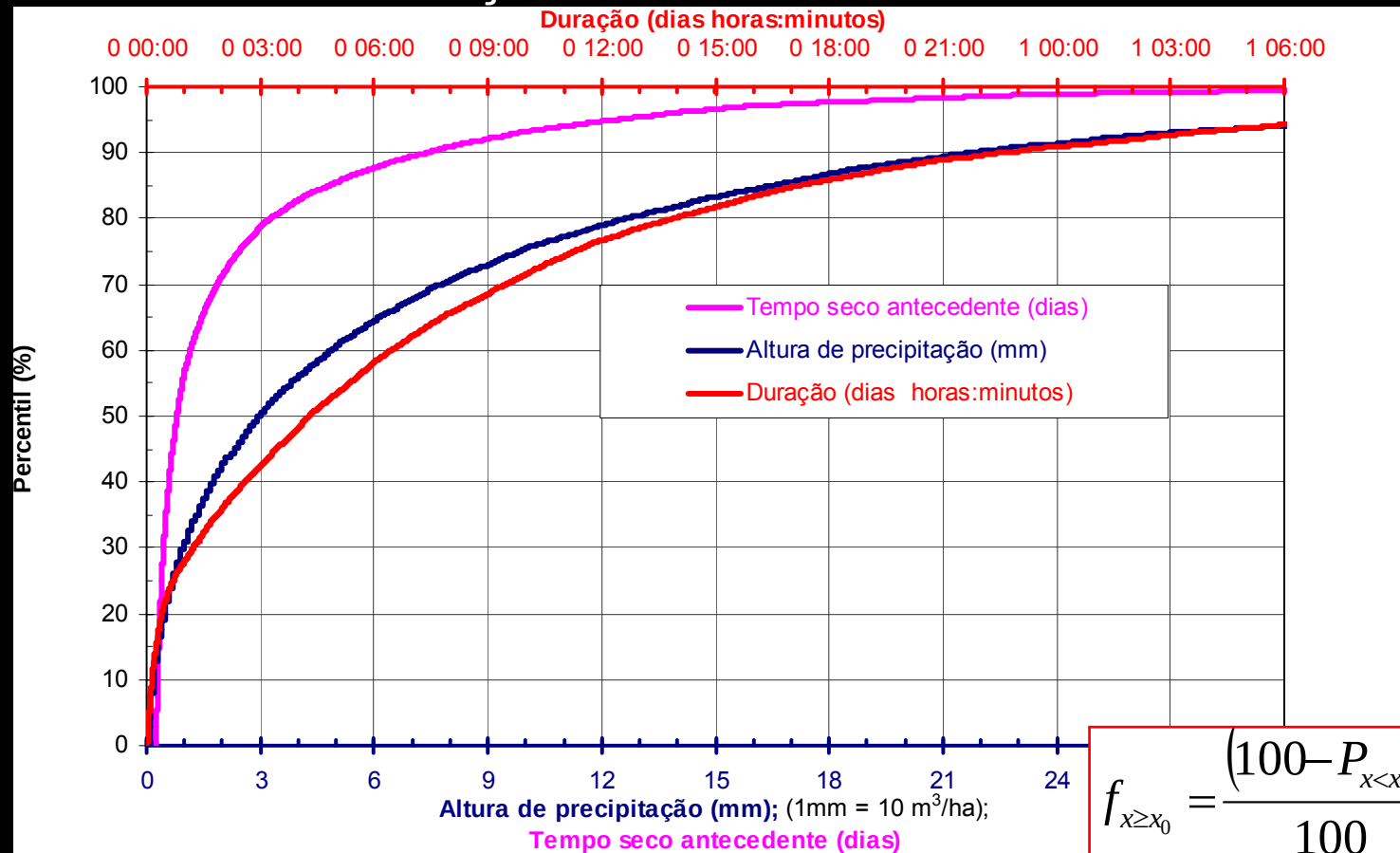
C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Caracterização de eventos - altura de precipitação, tempo seco antecedente e duração dos eventos.



$$f_{x \geq x_0} = \frac{(100 - P_{x < x_0})}{100} \cdot \frac{7940 \text{ eventos}}{66 \text{ anos}}$$



U



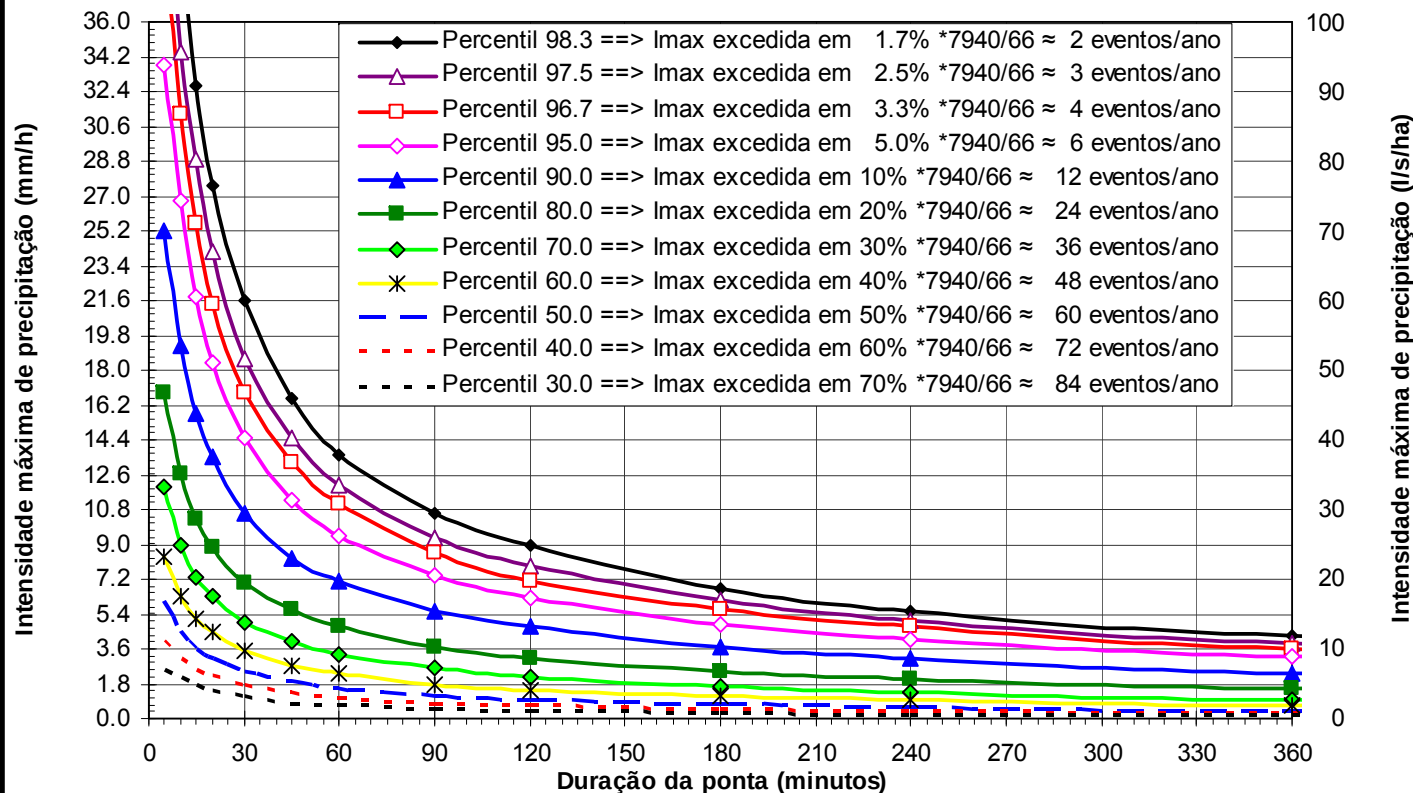
C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Curvas de intensidade duração frequência – IDF Precipitação frequente



→ curvas bastante próximas das obtidas para a série de Lisboa, com 19 anos e 1934 eventos
→ curvas podem ser de grande utilidade para classificar a amplitude de eventos medidos em campanhas de curta duração



U



C

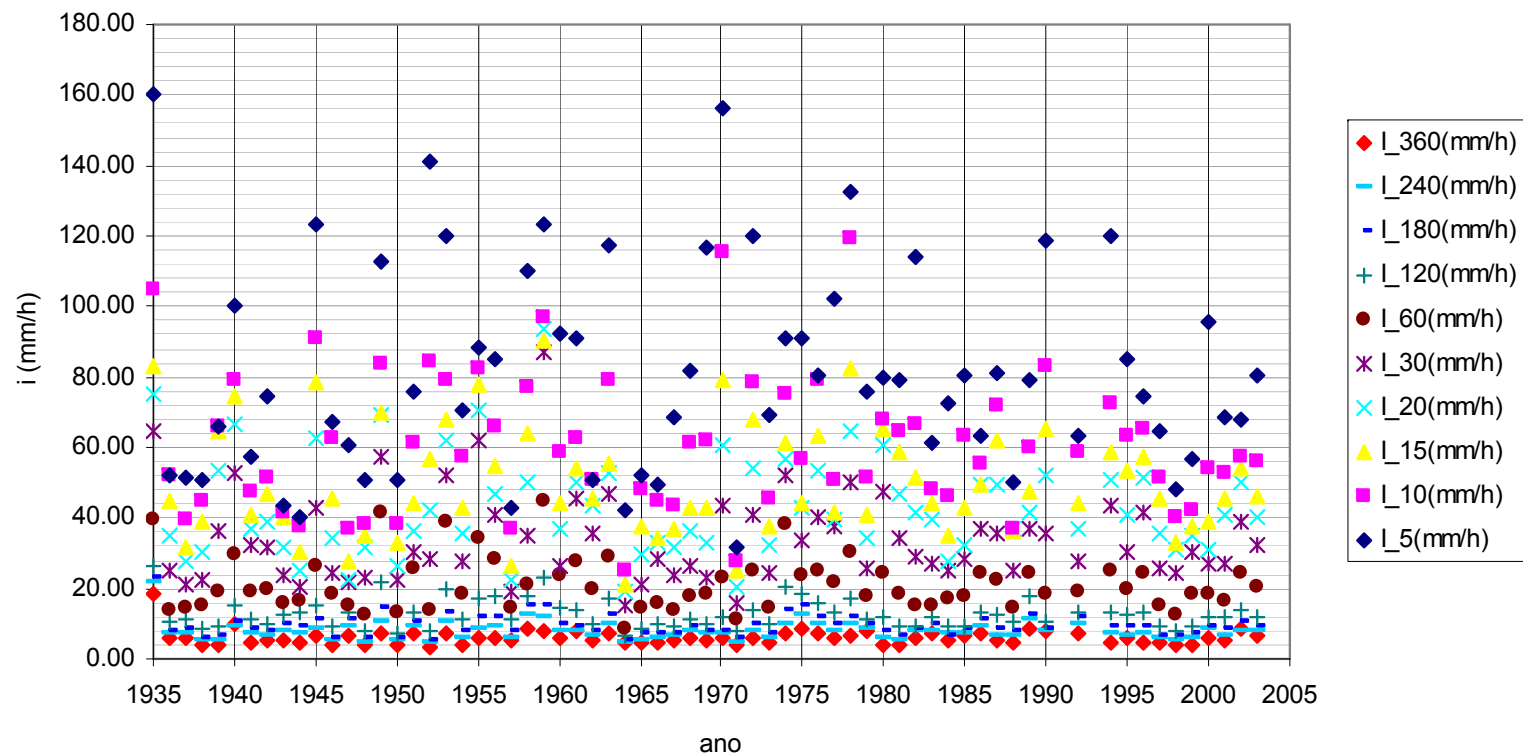
.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Precipitação – caracterização das precipitações intensas

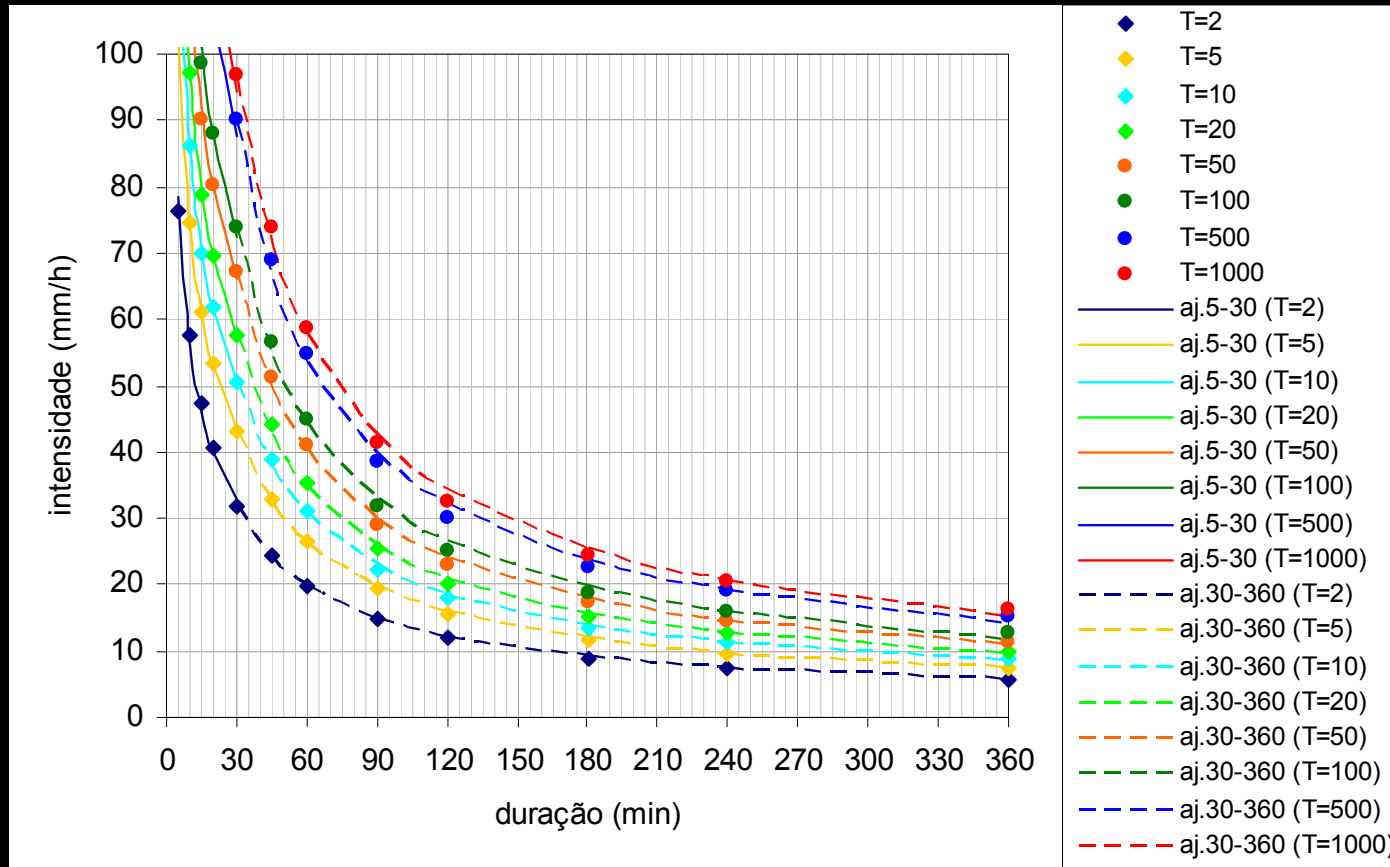
→ variação da intensidade máxima para diferentes durações ao longo dos 67 anos



A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Curvas de intensidade duração frequência – IDF

→ 12º ENASB
2006



U



C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

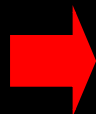
NOVAS CURVAS IDF PARA A REGIÃO DE COIMBRA:

Estudo baseado na digitalização de série udográfica com cerca de 70 anos

Precipitação – caracterização das precipitações intensas

→ conhecimento da relação intensidade-duração-frequência (curvas IDF)

Curvas IDF para Coimbra, obtidas com base na digitalização da série udográfica do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra no período de Maio de 1935 a Setembro de 2005 que corresponde a 67 anos hidrológicos



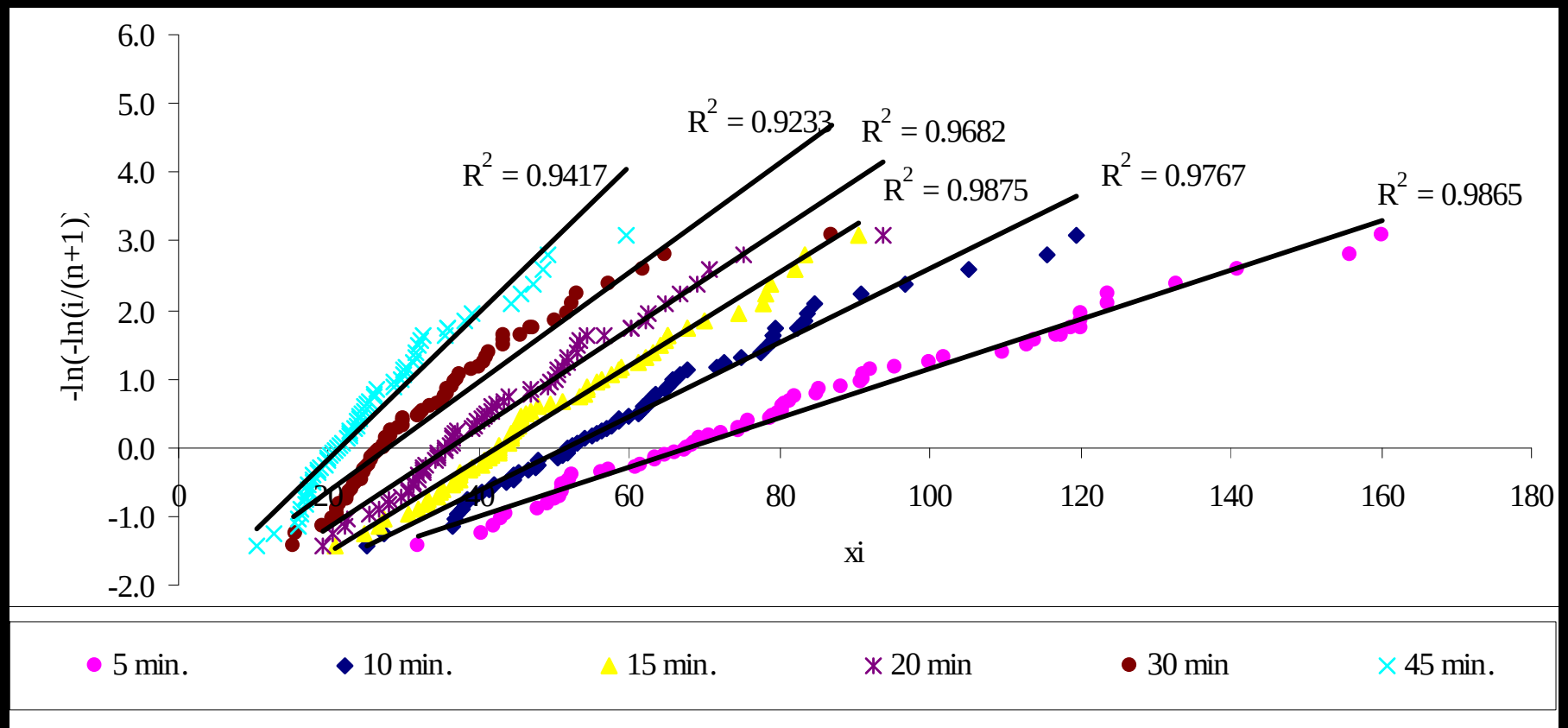
elevado número de anos + qualidade dos dados de base + maior rigor na obtenção de máximos resultante da digitalização sistemática da série “por janela móvel” e para quaisquer



- maior confiança das novas curvas IDF
- especial cuidado nas durações inferiores a 60 minutos (valores mais conservativos que os valores obtidos pelas curvas referidas no *RGSPDADAR* (Anexo IX))

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

→ representação gráfica da ordenação dos valores máximos anuais, para cada duração, em papel de probabilidade do tipo de Gumbel



U



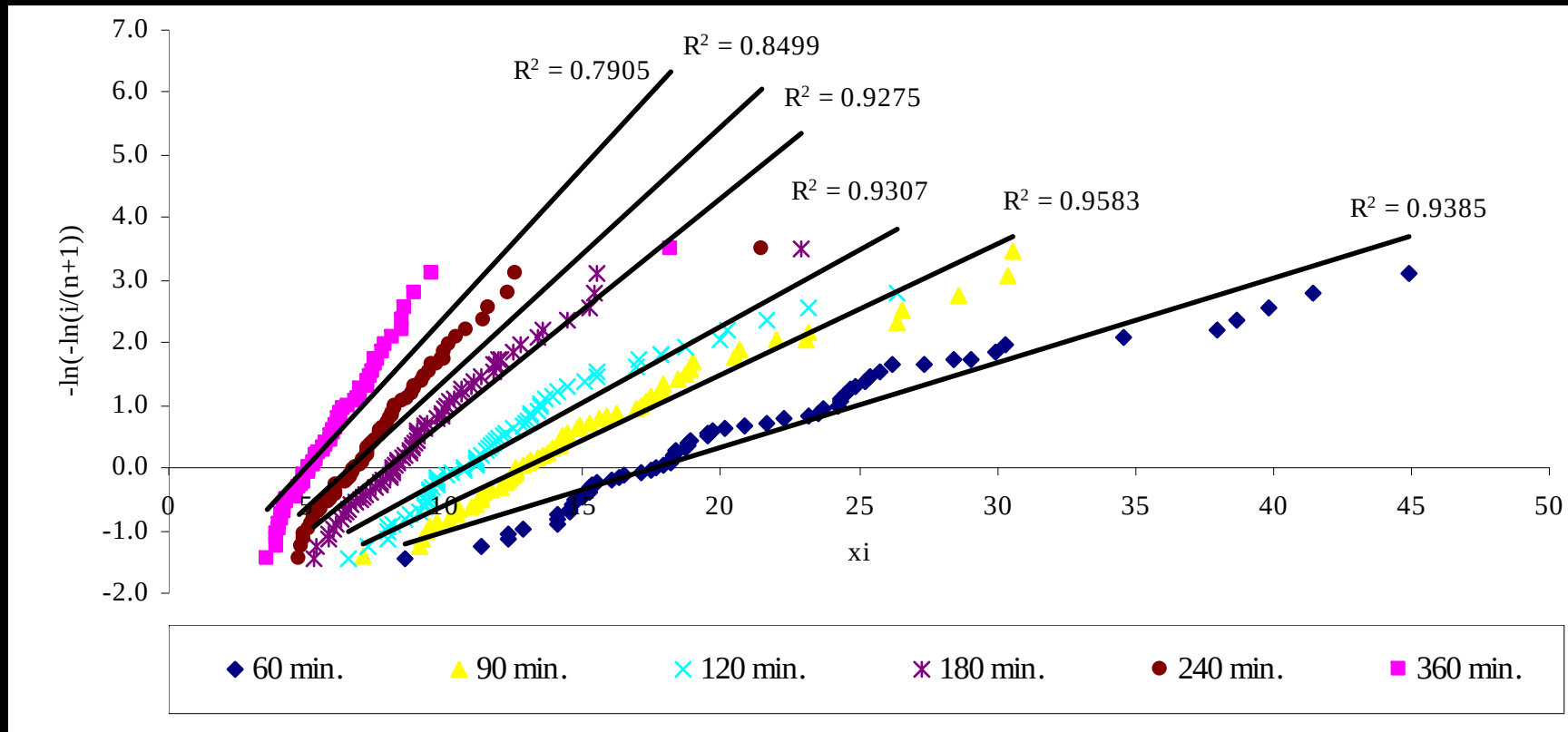
C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

→ representação gráfica da ordenação dos valores máximos anuais, para cada duração, em papel de probabilidade do tipo de Gumbel



U



C

.

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Precipitação – caracterização das precipitações intensas

Conclusões

- série digitalizada não revela erros significativos para 66 anos hidrológicos e que apresenta elevada homogeneidade - comparação dos totais anuais com os dos postos vizinhos, e dos diversos registos para a altura total de precipitação.
- análise da série de valores anuais - distribuição normal aceite tanto pelo teste do qui-quadrado como pelo de Kolmogorov-Smirnov, ambos para um nível de significância de 0.05 – algumas diferenças
- A divisão por eventos com base nos critérios propostos ($ImáxTS = 0,25$ mm; $DmínTS = 6$ horas) conduziu a uma média de 120 eventos por ano.

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Precipitação – caracterização das precipitações intensas

Conclusões

- São apresentadas curvas IDF para chuvadas frequentes, que podem ser utilizadas para, por exemplo, classificar a amplitude de eventos medidos em campanhas de curta duração.
- são apresentadas curvas IDF para períodos de retorno elevados
- os testes de Gumbel, de Qui -Quadrado e de Kolmogorov-Smirnov confirmam a aplicabilidade à série de máximos anuais para durações até 180, 360 e 240 minutos, respectivamente.

A PRECIPITAÇÃO EM COIMBRA

Agradecimentos

- ao Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, em particular ao Prof. Ivo Alves, o fornecimento dos udogramas diários;
- ao INAG, em particular à Eng. Cláudia Brandão e à Sra. Ana Miranda a colaboração e a digitalização das séries udográficas;
- Pedro Sousa pelo apoio no processamento e tratamento de dados, no âmbito do trabalho final de curso.



•

U



C

•

Rita Fernandes de Carvalho - 9º Congresso da Água
Estoril, 3 de Abril de 2008