



Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental



Universidade de São Paulo

PHA3307
HIDROLOGIA APLICADA

Precipitações
Chuvas intensas – Distribuição temporal

Aula 6

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mélo Júnior
Prof. Dr. Joaquin I. Bonnacarrere Garcia
Doutorando João Rafael B. Tercini
Doutorando William Dantas Vichete

LabSid

Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
Recursos Hídricos e Meio Ambiente

- Conhecer métodos de distribuição temporal da chuva
- Conhecer a técnica do hietograma triangular para obtenção de uma chuva de projeto.
- Método das equação Intensidade-Duração-Frequência, USDA-SCS e HUFF
- Aprender a técnica dos blocos alternados para obtenção de um hietograma de projeto.

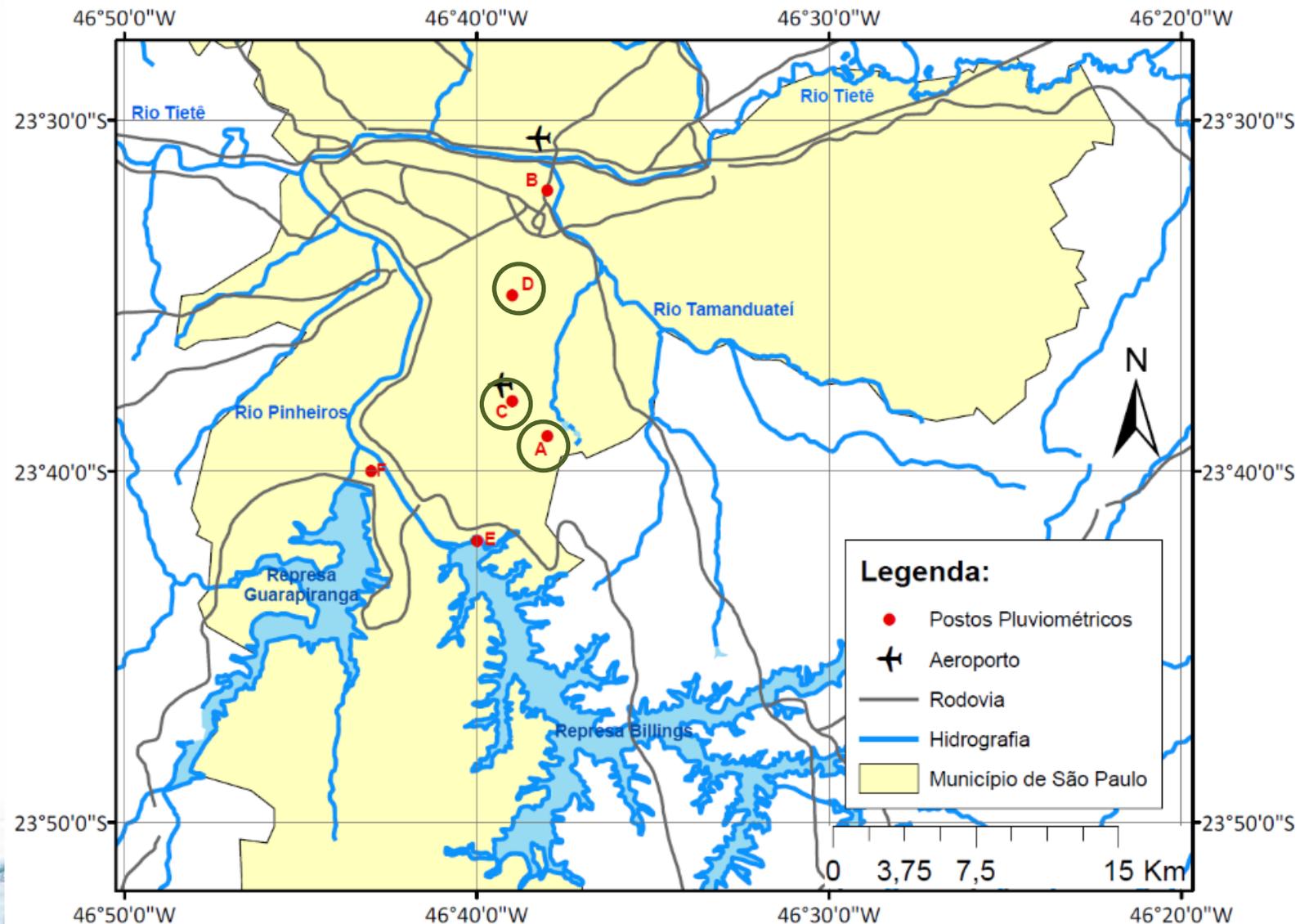
Precipitação no longo prazo no município de São Paulo

Postos pluviométricos selecionados

| P | Nome | Período de Observação | N [anos] |
|---|-----------------------|-----------------------|----------|
| A | Observatório do IAG | 1933 – 2009 | 77 |
| B | Luz (Estação) | 1888 – 2003 | 116 |
| C | Congonhas (Aeroporto) | 1946 – 2003 | 58 |
| D | Instituto Biológico | 1943 – 2003 | 61 |
| E | Pedreira | 1927 – 2011 | 87 |
| F | Represa Guarapiranga | 1922 – 2011 | 90 |

Resultados:

- Período comum de 1946 a 1999 (53 anos)
- Tendência de aumento da precipitação da precipitação total anual em A, C e D (raio de 3,75 km²)
- Não há tendência de mudança significativa na precipitação máxima diária anual



Chuvas e secas em São Paulo estão mais intensas com aquecimento, mostram dados

Análise da Folha indica mudança no clima paulistano, que esquentou quase 3°C desde 1960

Fonte: Folha de São Paulo. Cotidiano. 04 de março de 2020.

<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/03/chuvas-e-secas-em-sao-paulo-estao-mais-intensas-com-aquecimento-mostram-dados.shtml>

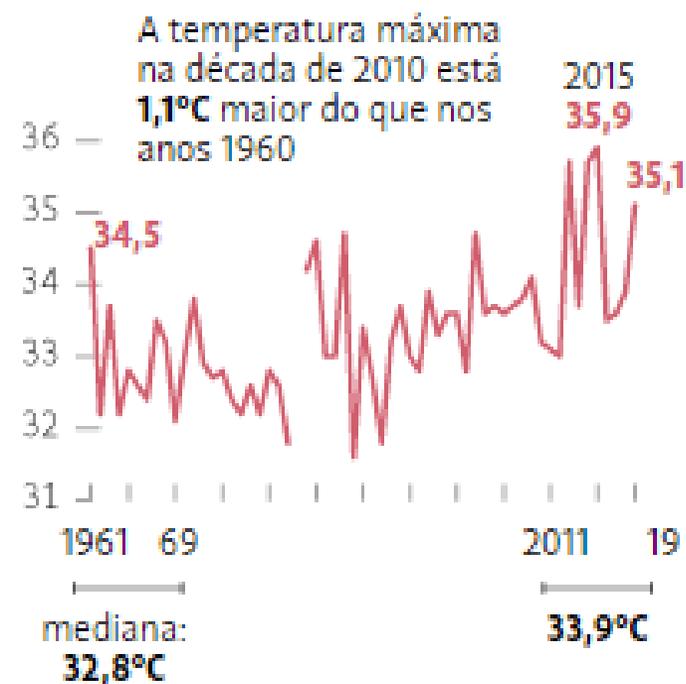
As mudanças no clima em São Paulo

Temperaturas estão mais altas e chuvas, mais intensas e espaçadas

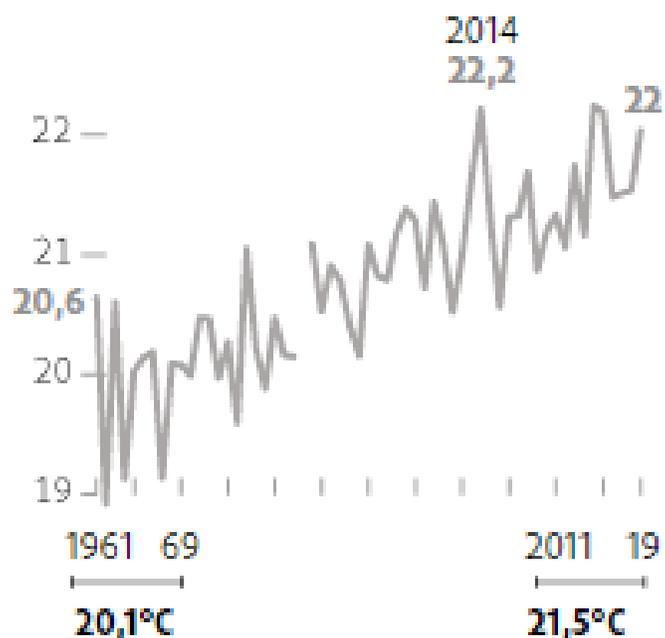
Dados coletados na zona Norte de São Paulo
Período de 1961 a 2019

Temperaturas máximas

Em °C

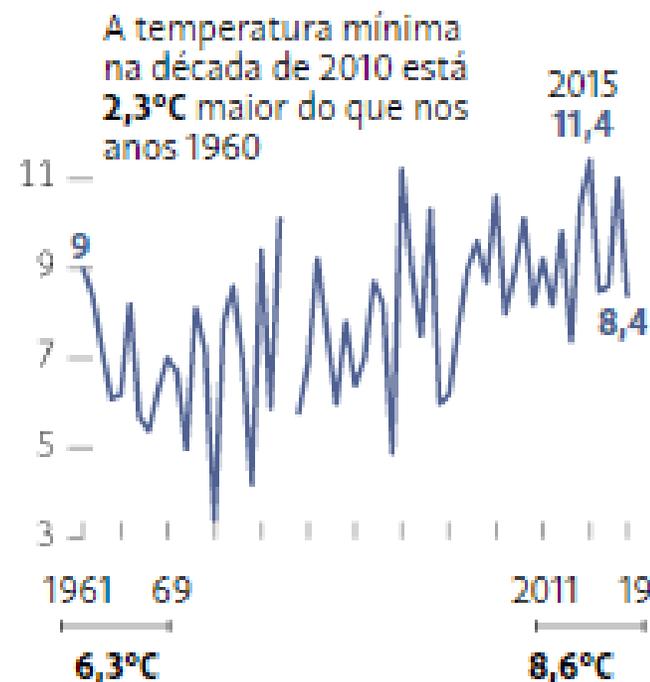


médias



A temperatura média na década de 2010 está **1,4°C** maior do que nos anos 1960

mínimas



*1983 - sem dados

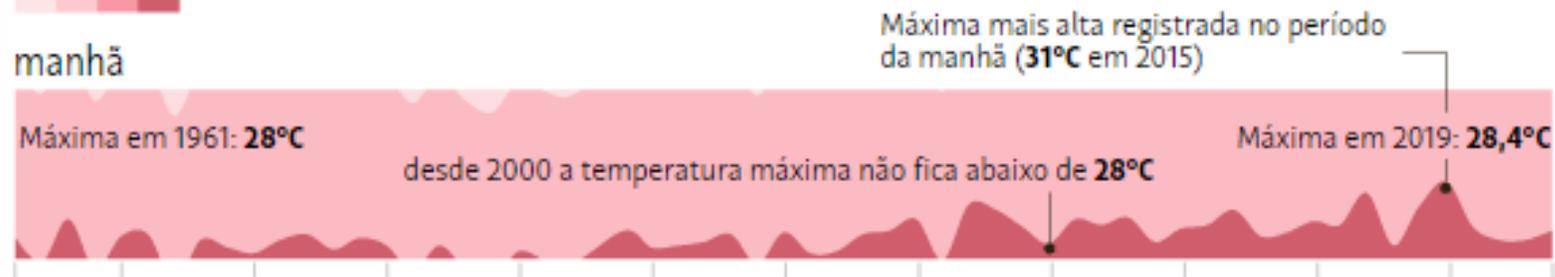
Temperaturas máximas

Maior presença de cores escuras nos infográficos representa maior quantidade de anos mais quentes ao longo do tempo. As noites, por exemplo, ficaram **2,5°C** mais quentes na década 2010 do que nos anos 1960

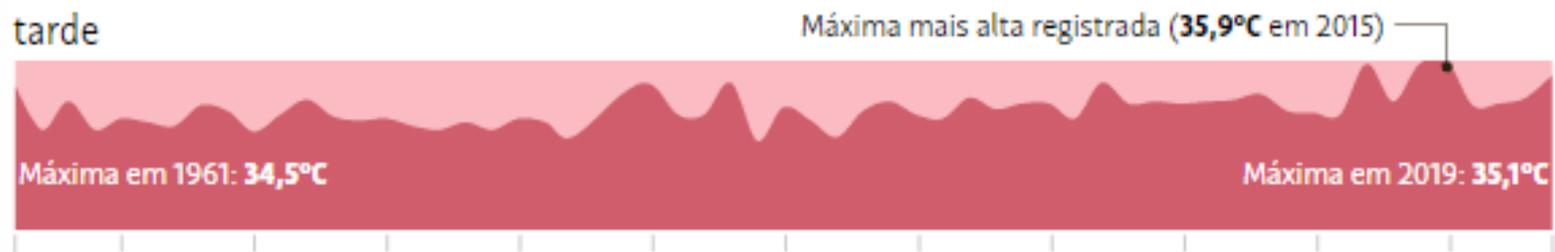
mais quente →



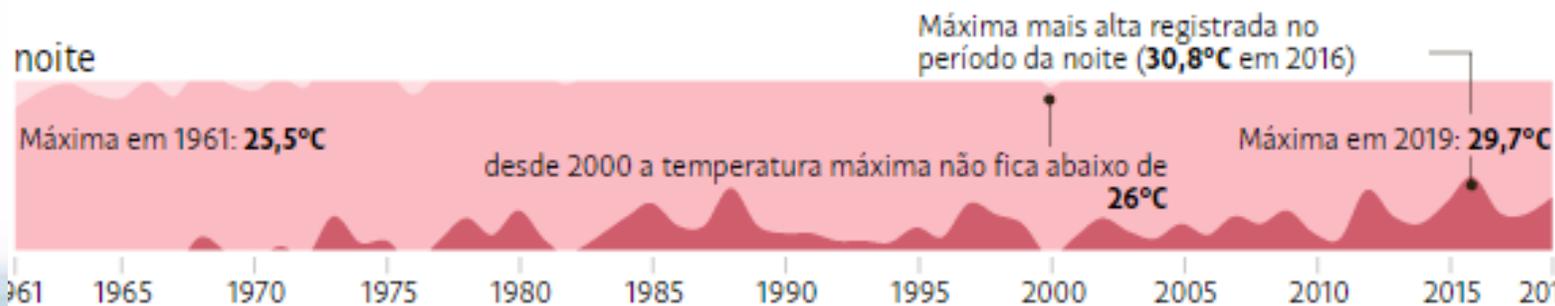
manhã



tarde



noite



1961 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2019

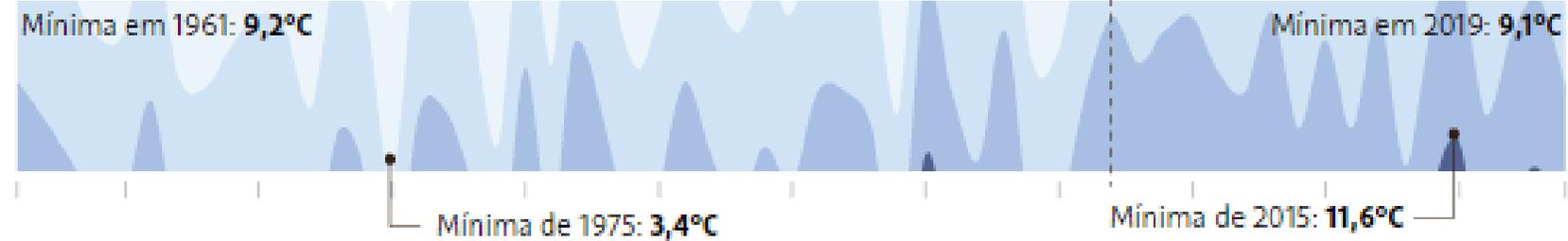
Temperaturas mínimas

Cores escuras também representam aqui anos mais quentes que os demais. A mudança é mais significativa nas manhãs

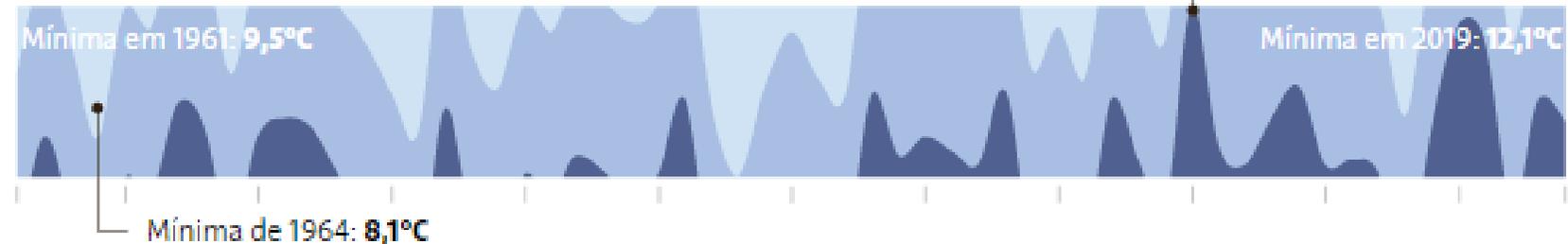
mais quente →



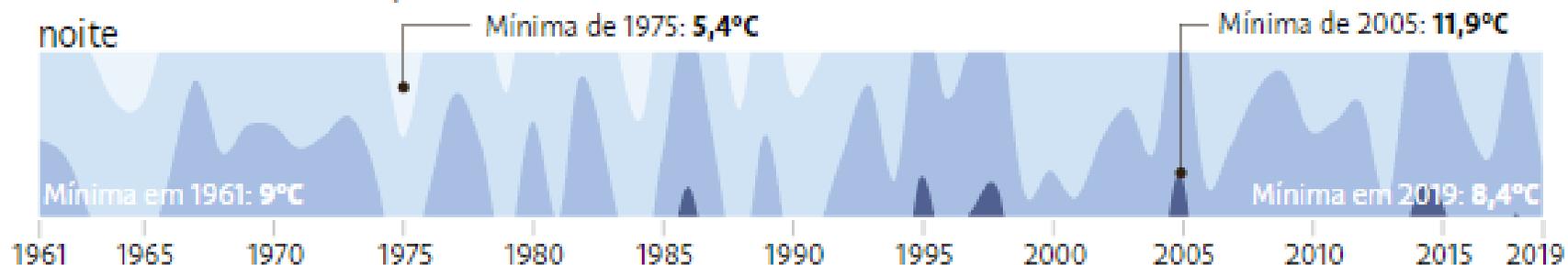
manhã



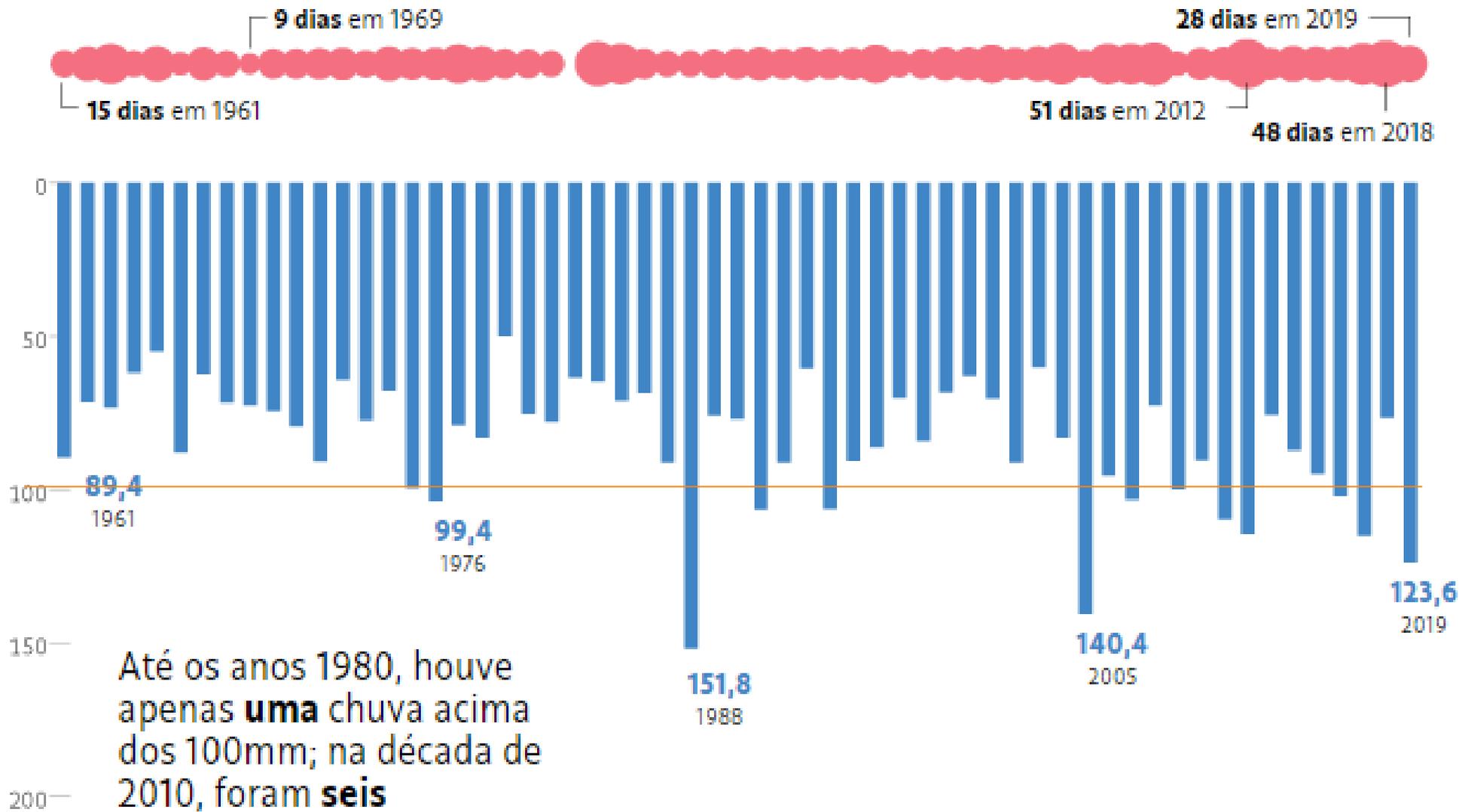
tarde



noite



Períodos sem chuva



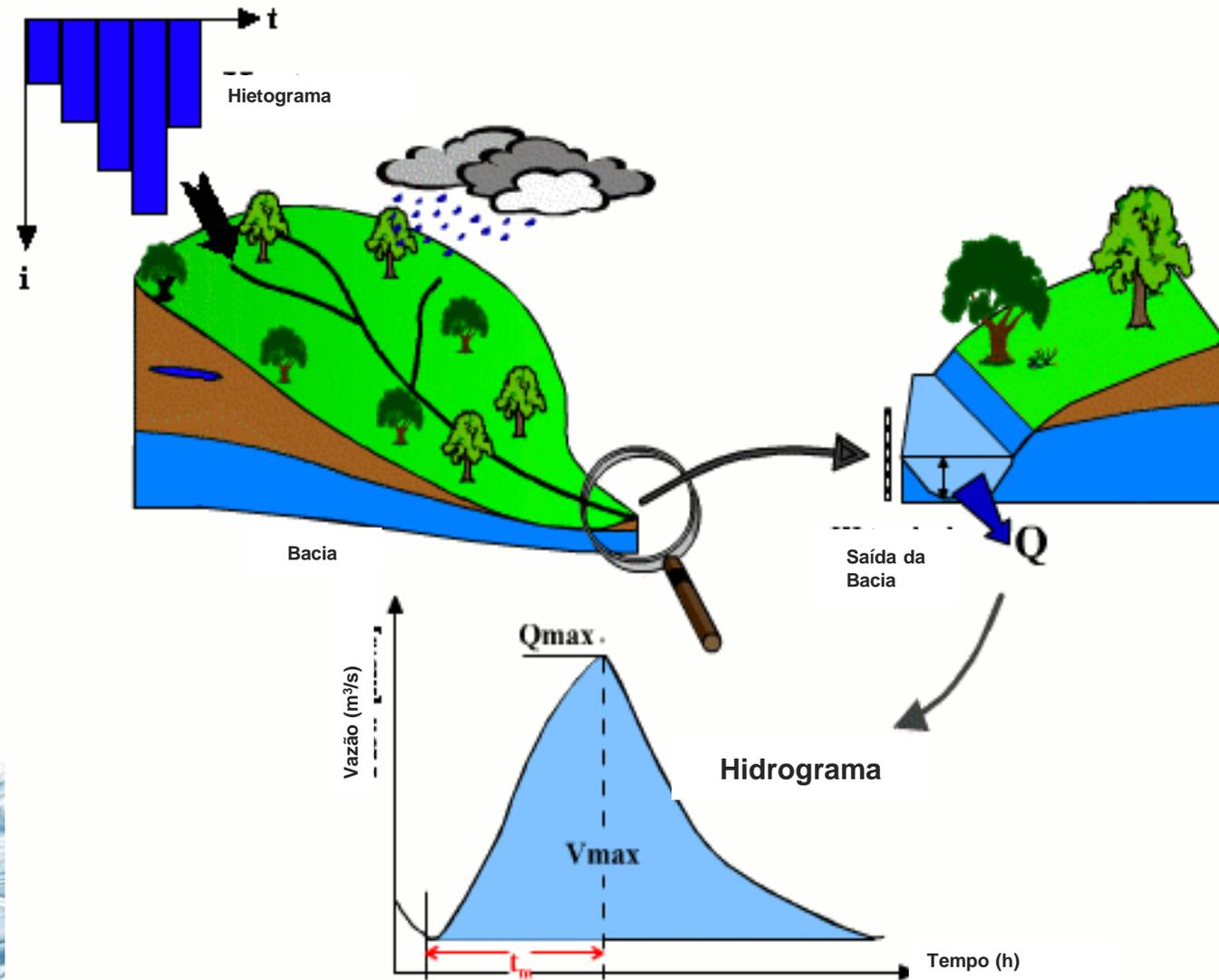
- Mudanças no regime de chuvas e nas temperaturas ao longo das últimas décadas
- Situação atual deverá ser o novo padrão na cidade nos próximos anos (pancadas de chuva cada vez mais fortes, alternadas com períodos secos mais longos)
- Projeções apontam para presença ainda maior de eventos extremos nas próximas décadas (número de dias com temperaturas médias acima de 25°C passará a ocupar 40% do ano nas próximas seis décadas, hoje ocupa 8% do ano)
- Mudanças podem estar relacionadas à variação natural do clima, mas também podem ser fruto do aquecimento global e da urbanização da região (queima de combustível fóssil e desmatamento)

Fonte:

<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/03/chuvas-e-secas-em-sao-paulo-estao-mais-intensas-com-aquecimento-mostram-dados.shtml>

■ Importância

- Planejamento de longo prazo, devido às influências diretas de alterações antrópicas provocadas no meio
- Projetos de sistemas de drenagem
- Medidas mitigadoras de proteção contra erosão do solo



Pfafstetter (1956) (para 98 postos pluviográficos do Brasil)

$$P = R \left[a_t + b \cdot \log(1 + c_t) \right]$$
$$R = T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma} \right)}$$

- P é a precipitação total máxima (mm);
- R é um fator associado à um período de retorno;
- $[a_t + b \log(1+c_t)]$ é a precipitação máxima associada à um período de retorno de um ano (série parcial);
- a, b e c são parâmetros do local
- α , β parâmetros que dependem da duração da precipitação
- t duração da precipitação
- T período de recorrência (anos)
- γ pouco influencia no ajuste da curva ($\gamma = 0,25$ para todos os postos)

Valores de α

| Duração | α |
|---------|----------|
| 5 min | 0,108 |
| 15 min | 0,122 |
| 30 min | 0,138 |
| 1 h | 0,156 |
| 2 h | 0,166 |
| 4 h | 0,174 |
| 8 h | 0,176 |
| 14 h | 0,174 |
| 24 h | 0,170 |
| 48 h | 0,166 |
| 3 dias | 0,160 |
| 4 dias | 0,156 |
| 6 dias | 0,152 |

Fonte: (Pfafstetter, 1957)

| Postos | β | | | | a | b | c |
|------------------|---------|--------|--------|------------|-----|----|----|
| | 5 min | 15 min | 30 min | 1h - 6dias | | | |
| Aracaju-SE | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,020 | 0,6 | 24 | 20 |
| Belém-PA | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,4 | 31 | 20 |
| B.Horizonte-MG | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,04 | 0,6 | 26 | 20 |
| C. do Sul-RS | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,5 | 23 | 20 |
| Cuiabá-MT | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | 0,1 | 30 | 20 |
| Curitiba-PR | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,08 | 0,2 | 25 | 20 |
| Florianópolis-SC | -0,04 | 0,12 | 0,20 | 0,20 | 0,3 | 33 | 10 |
| Fortaleza-CE | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,2 | 36 | 20 |
| Goiânia-GO | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,2 | 30 | 20 |
| R.Janeiro-RJ | -0,04 | 0,12 | 0,12 | 0,20 | 0,0 | 35 | 10 |
| João Pessoa-PA | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,6 | 33 | 10 |
| Maceió-AL | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,20 | 0,5 | 29 | 10 |
| Manaus-AM | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,1 | 33 | 20 |
| Natal-RN | -0,08 | 0,00 | 0,08 | 0,12 | 0,7 | 23 | 20 |
| Niterói-RJ | 0,08 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,2 | 27 | 20 |
| P.Alegre-RS | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,4 | 22 | 20 |
| Porto Velho-RO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,3 | 35 | 20 |
| Rio Branco-AC | -0,08 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,3 | 31 | 20 |
| Salvador-BA | -0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,6 | 33 | 10 |
| São Luiz-MA | -0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,4 | 42 | 10 |
| São Carlos-SP | -0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,4 | 29 | 20 |
| Uruguaiana-RS | -0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,2 | 38 | 10 |

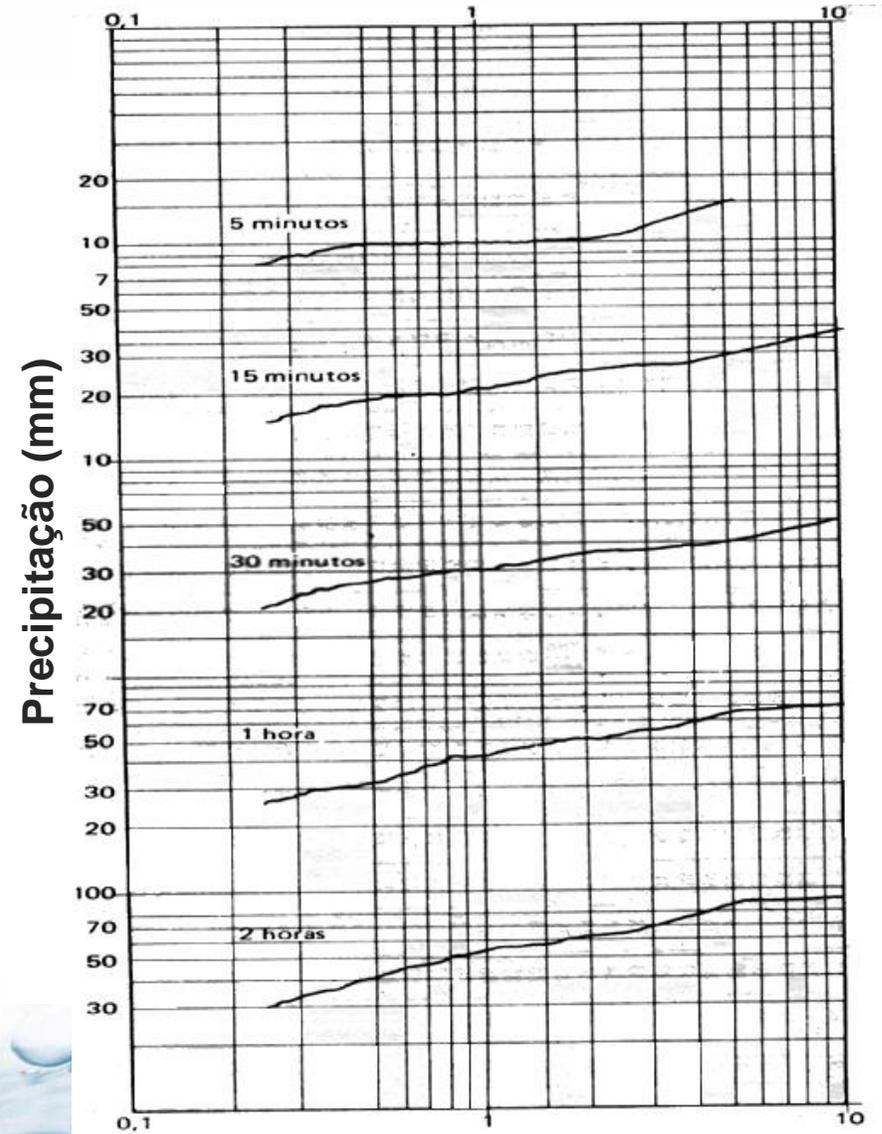
Valores de β , a, b e c para algumas cidades brasileiras

Determinar a precipitação máxima total em Aracaju para um evento de período de retorno de 50 anos e uma duração de 2 horas.

$$R = T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}\right)} = 50^{\left(0,166 + \frac{0,02}{50^{0,25}}\right)} = 1,9715$$

$$\left[a_t + b \cdot \log(1 + c_t) \right] = \left[0,6 + 24 \cdot \log(1 + 20) \right] = 32,33$$

$$P = R \cdot [\dots] = 1,9715 \cdot 32,33 = 63,74 \text{ mm}$$



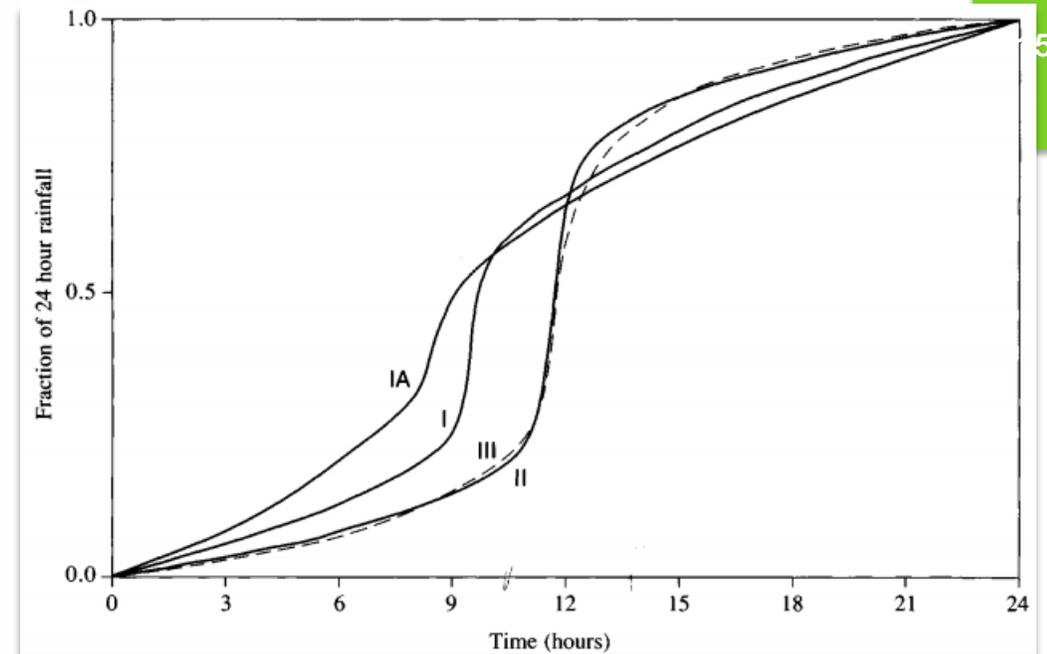
Tempo de Recorrência (anos)

Método do USDA-SCS

Distribuição temporal da chuva

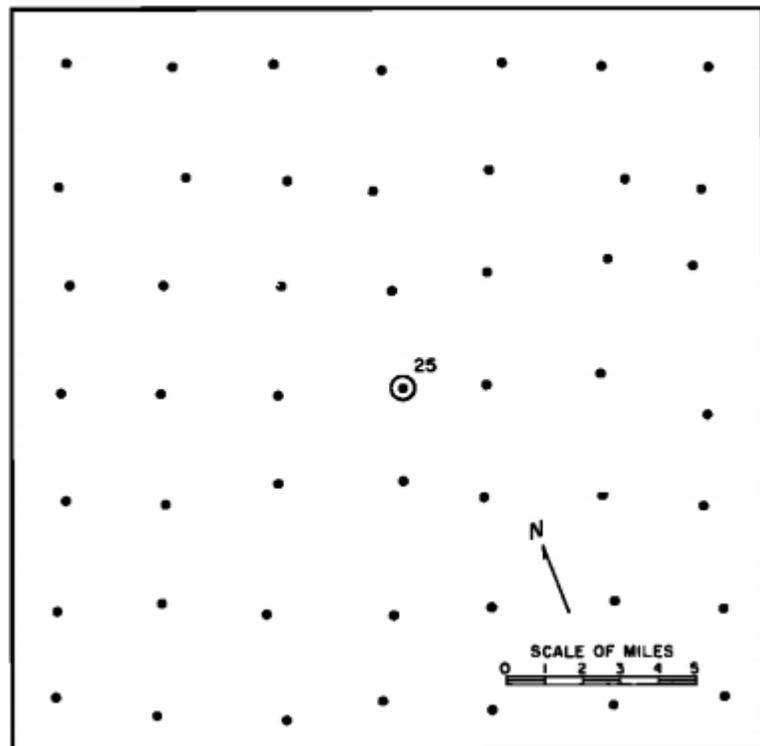
Distribuição da chuva – Hietograma sintético

| 24-hour storm | | | | | | 6-hour storm | | |
|---------------|--------|--------------|---------|---------|----------|--------------|-------|---------------------|
| Hour t | $t/24$ | P_i/P_{24} | | | | Hour t | $t/6$ | Type I P_i/P_6 |
| | | Type I | Type IA | Type II | Type III | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.0 | 0.083 | 0.035 | 0.050 | 0.022 | 0.020 | 0.60 | 0.10 | 0.04 |
| 4.0 | 0.167 | 0.076 | 0.116 | 0.048 | 0.043 | 1.20 | 0.20 | 0.10 |
| 6.0 | 0.250 | 0.125 | 0.206 | 0.080 | 0.072 | 1.50 | 0.25 | 0.14 |
| 7.0 | 0.292 | 0.156 | 0.268 | 0.098 | 0.089 | 1.80 | 0.30 | 0.19 |
| 8.0 | 0.333 | 0.194 | 0.425 | 0.120 | 0.115 | 2.10 | 0.35 | 0.31 |
| 8.5 | 0.354 | 0.219 | 0.480 | 0.133 | 0.130 | 2.28 | 0.38 | 0.44 |
| 9.0 | 0.375 | 0.254 | 0.520 | 0.147 | 0.148 | 2.40 | 0.40 | 0.53 |
| 9.5 | 0.396 | 0.303 | 0.550 | 0.163 | 0.167 | 2.52 | 0.42 | 0.60 |
| 9.75 | 0.406 | 0.362 | 0.564 | 0.172 | 0.178 | 2.64 | 0.44 | 0.63 |
| 10.0 | 0.417 | 0.515 | 0.577 | 0.181 | 0.189 | 2.76 | 0.46 | 0.66 |
| 10.5 | 0.438 | 0.583 | 0.601 | 0.204 | 0.216 | 3.00 | 0.50 | 0.70 |
| 11.0 | 0.459 | 0.624 | 0.624 | 0.235 | 0.250 | 3.30 | 0.55 | 0.75 |
| 11.5 | 0.479 | 0.654 | 0.645 | 0.283 | 0.298 | 3.60 | 0.60 | 0.79 |
| 11.75 | 0.489 | 0.669 | 0.655 | 0.357 | 0.339 | 3.90 | 0.65 | 0.83 |
| 12.0 | 0.500 | 0.682 | 0.664 | 0.663 | 0.500 | 4.20 | 0.70 | 0.86 |
| 12.5 | 0.521 | 0.706 | 0.683 | 0.735 | 0.702 | 4.50 | 0.75 | 0.89 |
| 13.0 | 0.542 | 0.727 | 0.701 | 0.772 | 0.751 | 4.80 | 0.80 | 0.91 |
| 13.5 | 0.563 | 0.748 | 0.719 | 0.799 | 0.785 | 5.40 | 0.90 | 0.96 |
| 14.0 | 0.583 | 0.767 | 0.736 | 0.820 | 0.811 | 6.00 | 1.0 | 1.00 |
| 16.0 | 0.667 | 0.830 | 0.800 | 0.880 | 0.886 | | | |
| 20.0 | 0.833 | 0.926 | 0.906 | 0.952 | 0.957 | | | |
| 24.0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | | |



Source: U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service (1973, 1986).

Distribuição temporal da chuva HUFF (1967)



Local: Illinois, USA

- 400 mi² (1,036 km²)
- 49 estações de chuva
- Relevo plano
- Altitude (198 a 277 m)

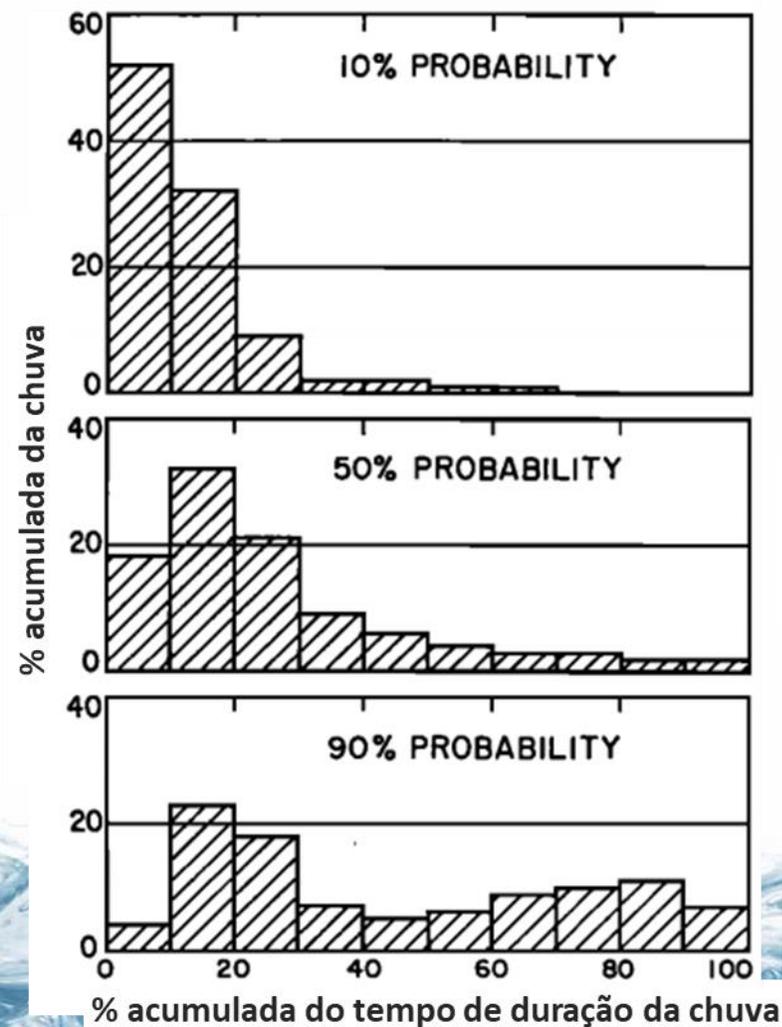
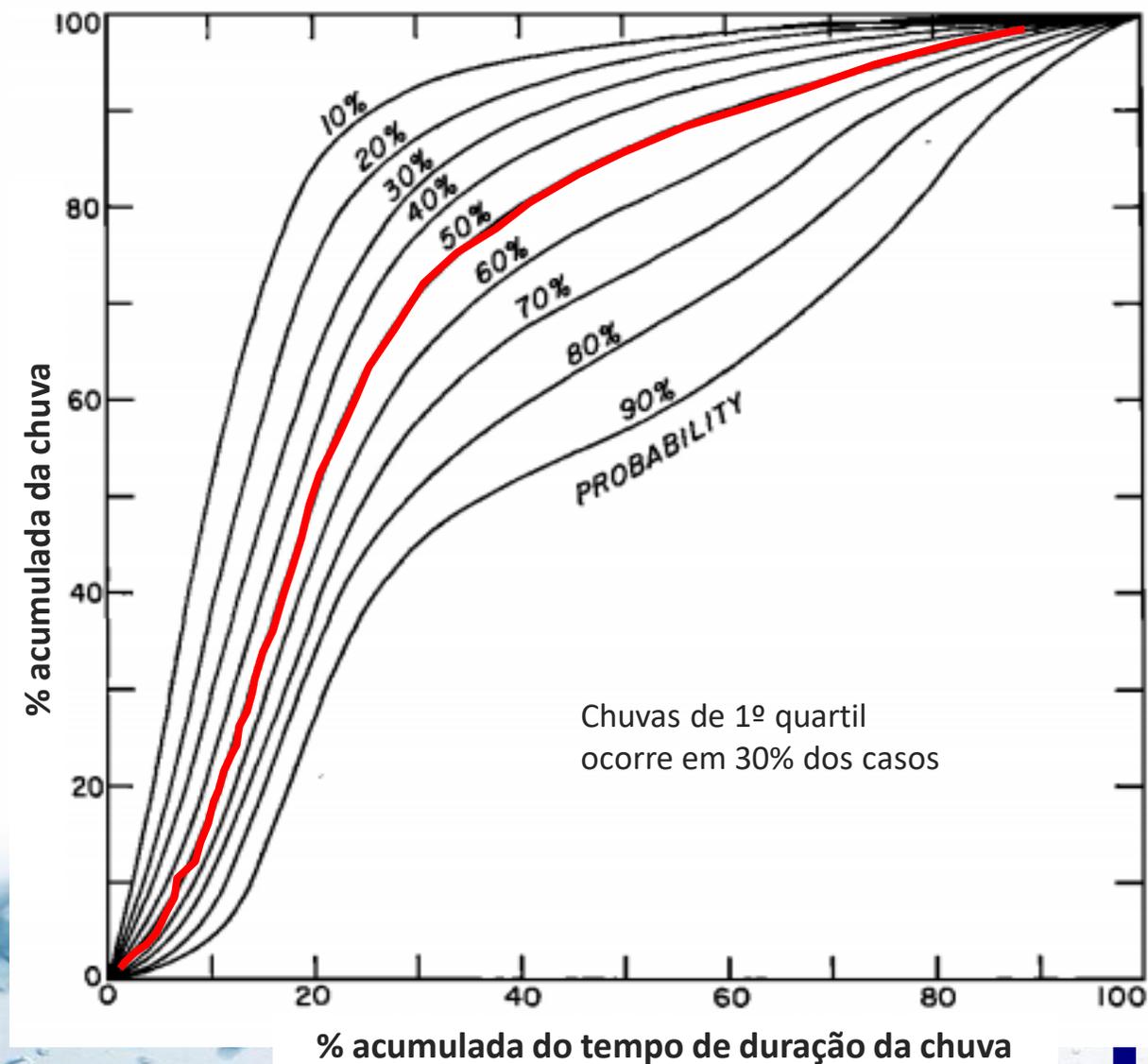
- 11 anos de coleta (1955 a 1966)
- Chuva coletada a cada 5, 15 e 30 min com pluviógrafo
- Chuvas acumuladas em 6 h ou mais
- Chuvas maiores que 12,7 mm foram computadas
- Isoietas sucessivas com chuvas de 30 min
- 3 durações (< 12 h, 12 a 24 h; > 24 h)
- 4 médias (12,7 a 25,39 mm; 25,4 a 38,09 mm; 38,1 a 50,79 mm; ≥ 50,8 mm)

Resultados:

1. 4 grupos de chuva dependendo se elas ocorreram no 1º, 2º, 3º ou 4º quartil do período observado
2. Relação % acumulada da chuva x % acumulado no tempo
3. Em cada quartil, apresenta a probabilidade de ocorrência entre todas as precipitações

Distribuição temporal da chuva

Distribuição para o 1º quartil



- 53% ou mais da chuva ocorrerá nos primeiros 10% da duração
- 95% ou mais da chuva ocorrerá até a metade da duração

- 18% ou mais da chuva ocorrerá nos primeiros 10% da duração
- 86% ou mais da chuva ocorrerá até a metade da duração

- Distribuição mais uniforme
- Menos de 60% da chuva cai na primeira metade da duração
- Ocorrerá em 10% ou menos das precipitações

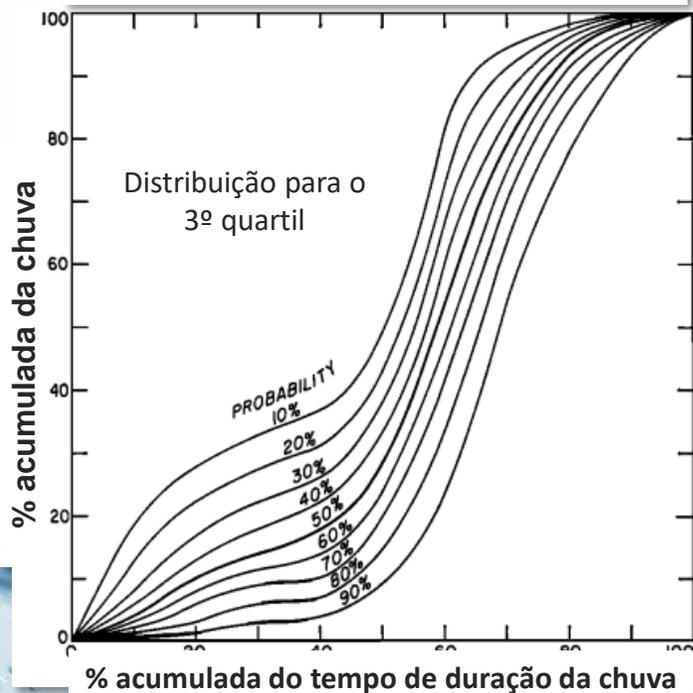
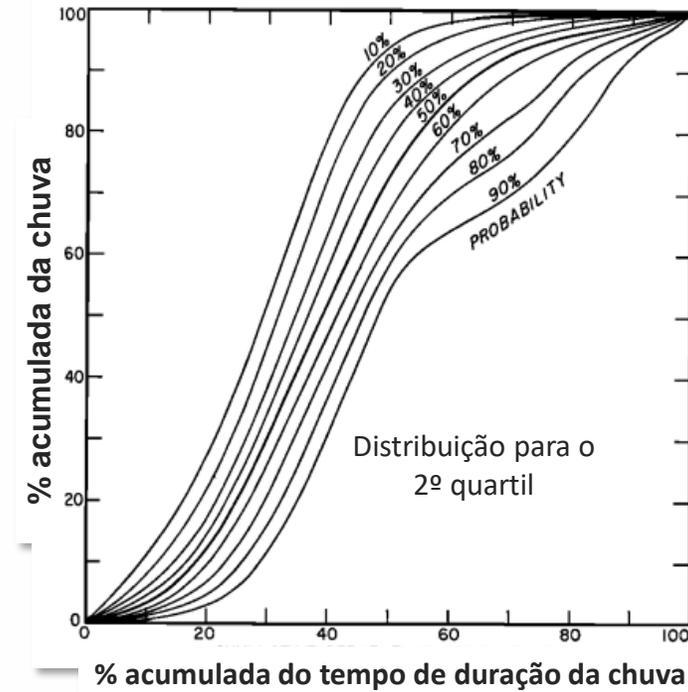
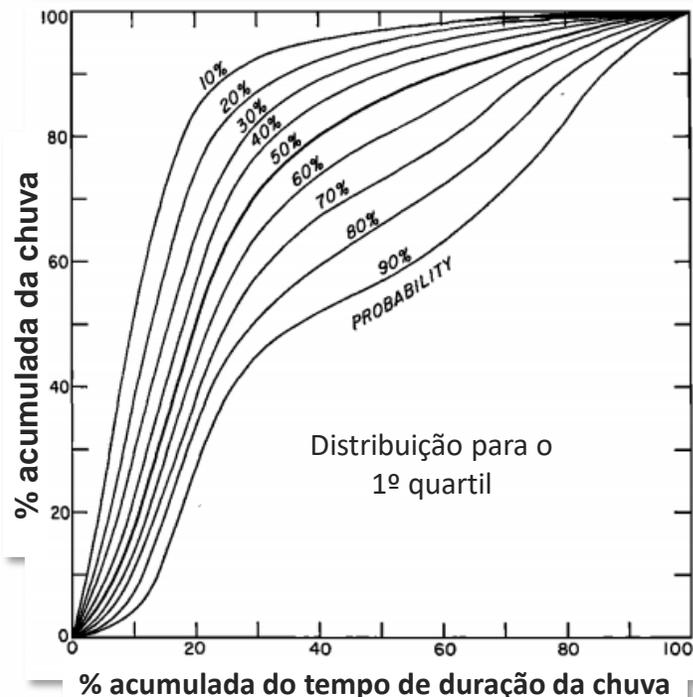
Distribuição temporal da chuva

Frequência dos quartis da chuva

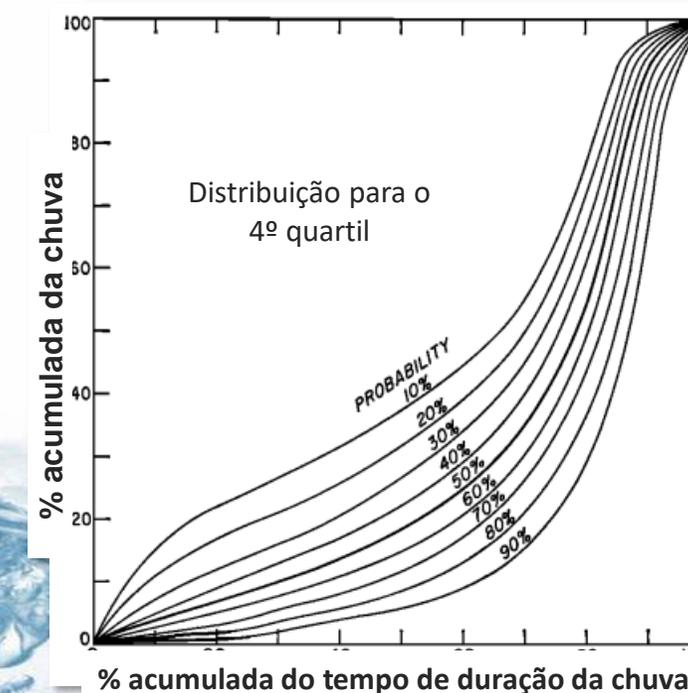
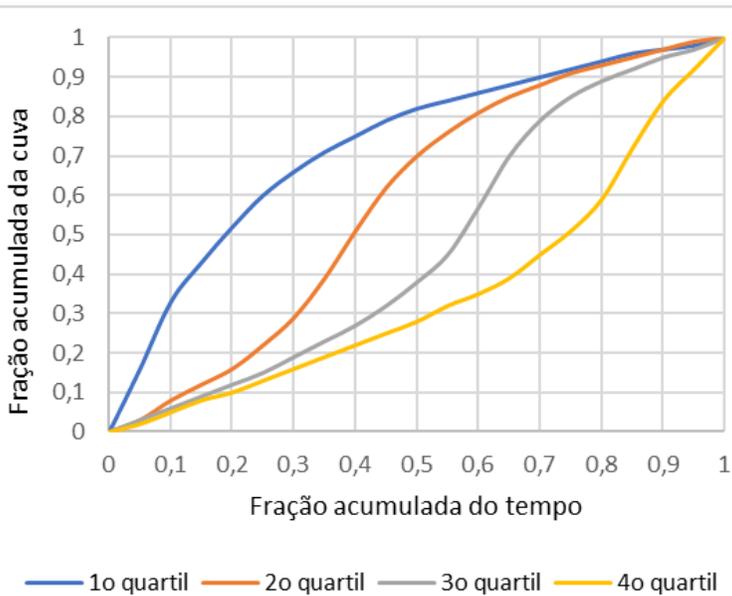
| Duração (h) | Quartil | Frequência (%) |
|-------------|---------|----------------|
| < 12 | 1º | 30 |
| < 12 | 2º | 36 |
| 12 - 24 | 3º | 19 |
| > 24 | 4º | 15 |

Exemplo:

Qual a Probabilidade global da chuva de 10% no 1º quartil ocorrer?
É de 3% (0,3 x 0,1)

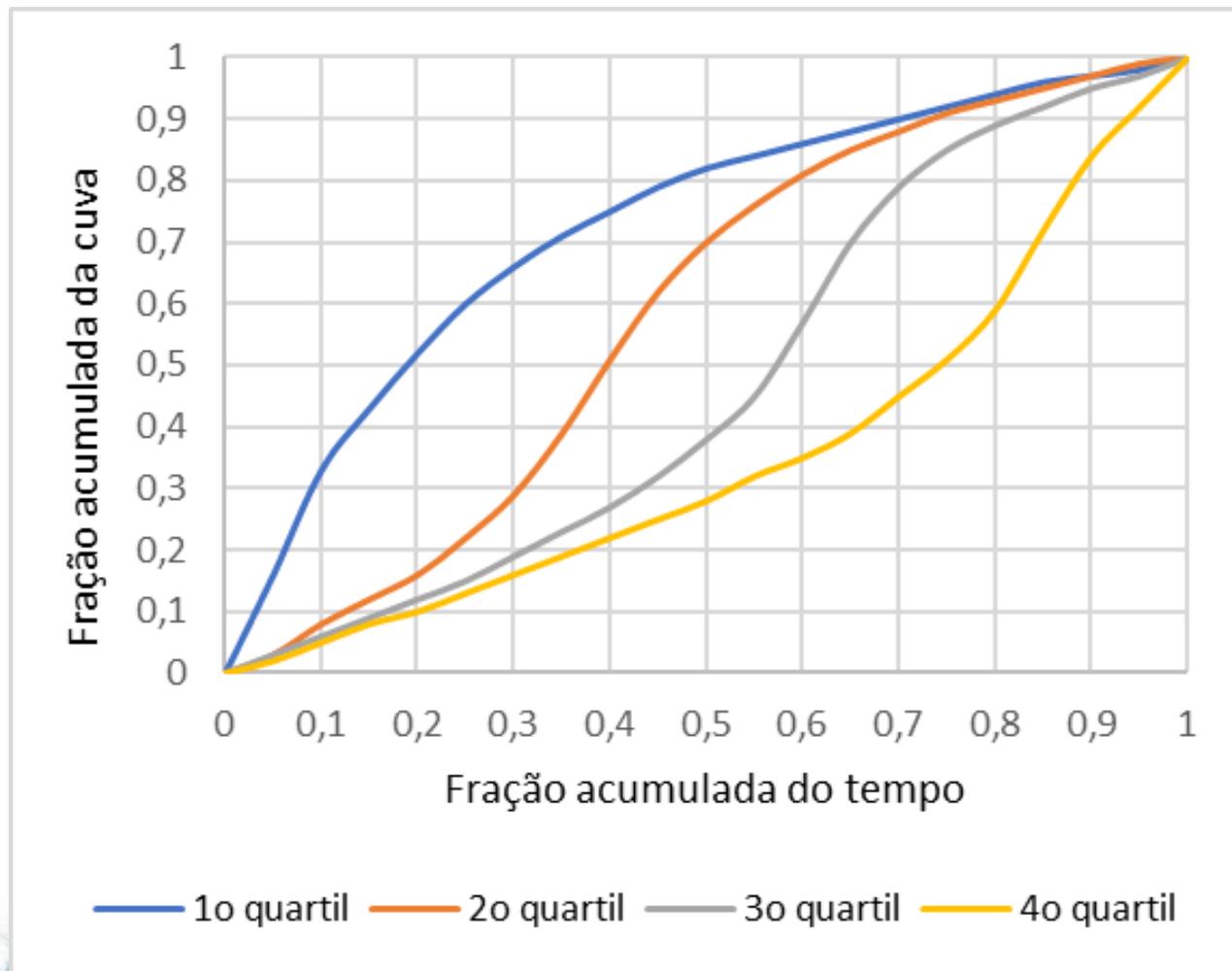


Chuva de 50% de probabilidade em cada quartil



Distribuição da chuva para curva de 50% de probabilidade de excedência

| %tempo | 1º Quartil | 2º Quartil | 3º Quartil | 4º Quartil |
|--------|------------|------------|------------|------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.05 | 0.16 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 0.1 | 0.33 | 0.08 | 0.06 | 0.05 |
| 0.15 | 0.43 | 0.12 | 0.09 | 0.08 |
| 0.2 | 0.52 | 0.16 | 0.12 | 0.1 |
| 0.25 | 0.6 | 0.22 | 0.15 | 0.13 |
| 0.3 | 0.66 | 0.29 | 0.19 | 0.16 |
| 0.35 | 0.71 | 0.39 | 0.23 | 0.19 |
| 0.4 | 0.75 | 0.51 | 0.27 | 0.22 |
| 0.45 | 0.79 | 0.62 | 0.32 | 0.25 |
| 0.5 | 0.82 | 0.7 | 0.38 | 0.28 |
| 0.55 | 0.84 | 0.76 | 0.45 | 0.32 |
| 0.6 | 0.86 | 0.81 | 0.57 | 0.35 |
| 0.65 | 0.88 | 0.85 | 0.7 | 0.39 |
| 0.7 | 0.9 | 0.88 | 0.79 | 0.45 |
| 0.75 | 0.92 | 0.91 | 0.85 | 0.51 |
| 0.8 | 0.94 | 0.93 | 0.89 | 0.59 |
| 0.85 | 0.96 | 0.95 | 0.92 | 0.72 |
| 0.9 | 0.97 | 0.97 | 0.95 | 0.84 |
| 0.95 | 0.98 | 0.99 | 0.97 | 0.92 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |



Expressões obtidas de ajustes de distribuição de frequência

$$i = \frac{K \cdot T_R^m}{(t + t_0)^n}$$

- i é a **intensidade média** da chuva (mm/min)
- t é a duração da chuva (minutos)
- T_R é o período de recorrência (anos)
- m, n, t_0 e K são parâmetros relativos ao ajuste da equação

Parâmetros para algumas cidades

| Local | K | m | t_0 | n |
|----------------|--------|-------|-------|-------|
| São Paulo | 57,71 | 0,172 | 22 | 1,025 |
| Curitiba | 20,65 | 0,15 | 20 | 0,74 |
| Rio de Janeiro | 99,154 | 0,217 | 26 | 1,15 |
| Belo Horizonte | 24,131 | 0,1 | 20 | 0,84 |

Precipitação IDF para São Paulo (Martinez e Piteri (2015))

Estação: Observatório IAG – E3-035R / DAEE

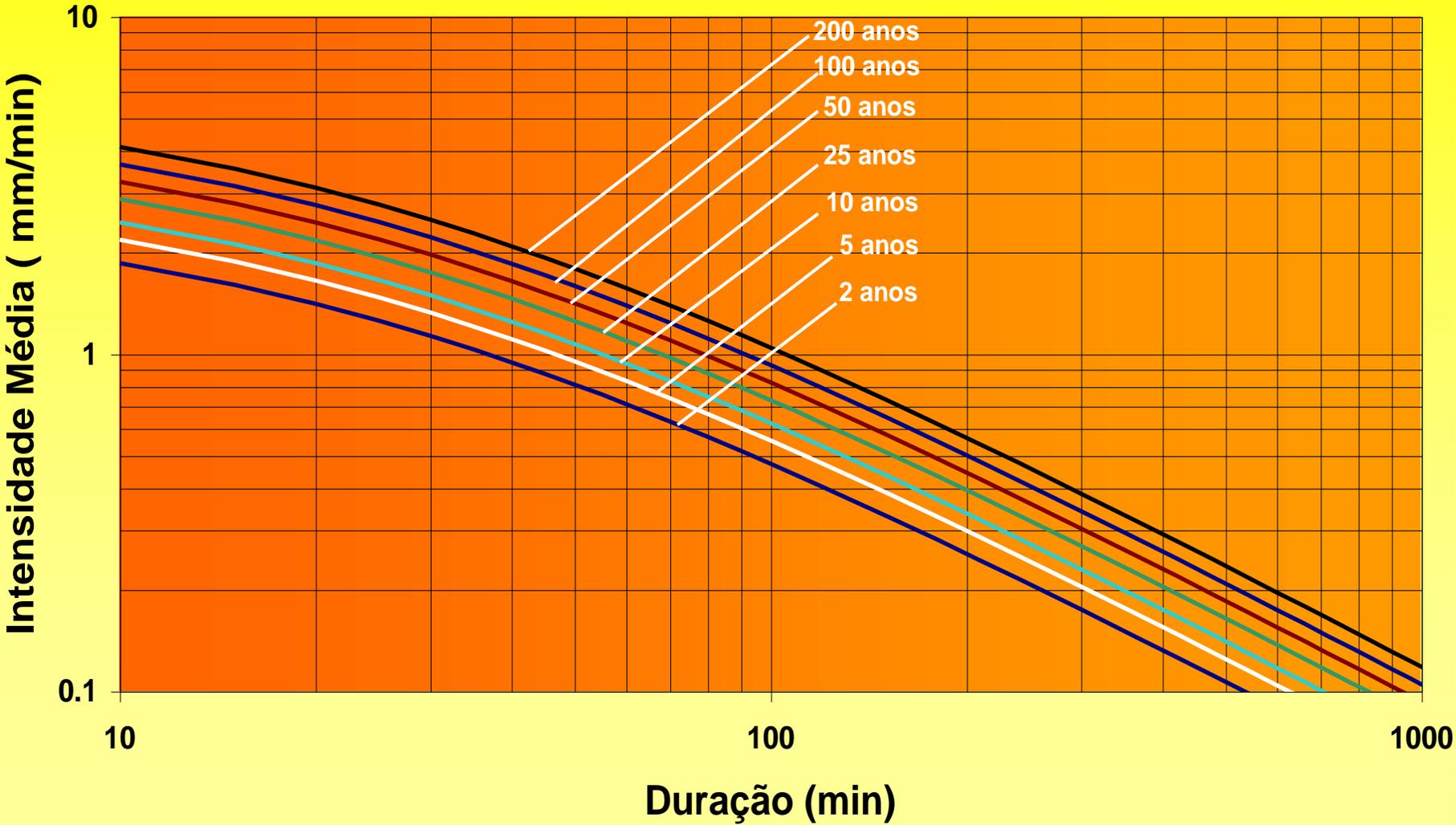
Período: 1933-1936, 1938, 1940-1945, 1948-1961, 1963-1973, 1975, 1977-1982, 1984-1998, 2001-2005, 2008-2009, 2011 (66 anos)

$$i_{t,T} = 32,77 (t + 20)^{-0,8780} + 16,10 (t + 30)^{-0,9306} [-0,4692 - 0,8474 \ln \ln (T/T-1)]$$

Para $10 \leq t \leq 1440$ min

- i é a intensidade média da chuva (mm/min)
- t é a duração da chuva (minutos)
- T_R é o período de recorrência (anos)

Intensidade x Duração x Frequência

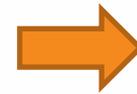


Chuvas mais Intensas observadas no mundo

| Duração | Altura- mm | Local | Data |
|-------------|------------|---------------------------|----------------|
| 1 min | 38 | Barot Guadeloupe | 26/11/1970 |
| 8 min | 126 | Fussen, Bavaria | 25/5/1920 |
| 15 min | 198 | Plumb Point, Jamaica | 12/5/1916 |
| 20 min | 206 | Curtea de Arges, Romania | 7/7/1947 |
| 42 min | 305 | Holt, Mo | 22/6/1947 |
| 2 h 10 min | 483 | Rockport, W.V. | 18/7/1889 |
| 2 h 45 min | 559 | D'Hanis, Tex(17 mi NNW) | 31/5/1935 |
| 4 h 30 min | 782 | Smethport, Pa. | 18/7/1942 |
| 9 h | 1087 | Belouve, La Réunion | 18/2/1964 |
| 12 h | 1340 | Belouve, La Réunion | 28-29/2/1964 |
| 18 h 30 min | 1689 | Belouve, La Réunion | 28-29/2/1964 |
| 24 h | 1825 | Foc Foc, La Réunion | 15-16/3/1952 |
| 2 dias | 2259 | Hsin-Liao, Taiwan | 17-18/10/1967 |
| 3 dias | 2759 | Cherrapunji, India | 12-14/9/1974 |
| 4 dias | 3721 | Cherrapunji, India | 12-15/9/1974 |
| 8 dias | 3847 | Bellenden Ker, Queensland | 1-8/1/1979 |
| 15 dias | 4798 | Cherrapunji, India | 24/6 -8/7/1931 |
| 31 dias | 9300 | Cherrapunji, India | 7/1861 |
| 2 meses | 12767 | Cherrapunji, India | 6-7/1861 |
| 3 meses | 16369 | Cherrapunji, India | 5-7/1861 |
| 4 meses | 18738 | Cherrapunji, India | 4-7/1861 |
| 5 meses | 20412 | Cherrapunji, India | 4-8/1861 |
| 6 meses | 22454 | Cherrapunji, India | 4-9/1861 |
| 11 meses | 22990 | Cherrapunji, India | 1-11/1861 |
| 1 ano | 26461 | Cherrapunji, India | 8/1860-7/1861 |
| 2 anos | 40768 | Cherrapunji, India | 1860-1861 |

- A distribuição temporal dos volumes precipitados condicionará o volume infiltrado e a forma do hidrograma de escoamento superficial direto originado pela chuva excedente
- A distribuição temporal da chuva e o tempo de resposta da bacia hidrográfica vão determinar os valores da vazão máxima do hidrograma e o instante de ocorrência

Distribuição Temporal + Volume infiltrado



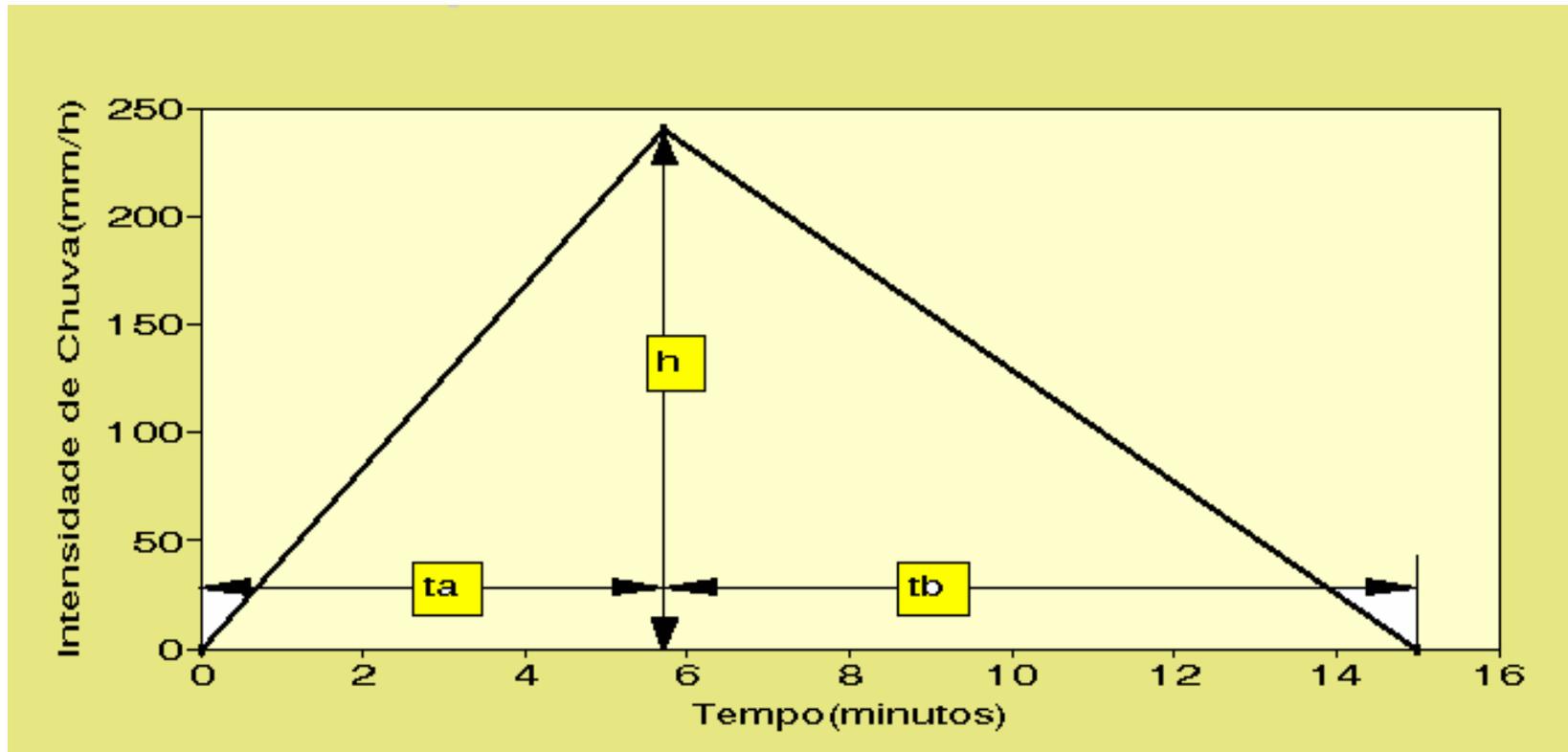
Forma do hidrograma

Distribuição Temporal + Tempo resposta



Vazão máxima e instante de ocorrência

- Curvas de infiltração da bacia (dependem da condição de umidade inicial e do tipo e uso do solo)
 - haverá variação do volume do escoamento superficial na bacia, e em função também da distribuição temporal da chuva
- Há grande dispersão nos padrões dos hietogramas para precipitações de mesma duração, devido à complexidade dos fenômenos físicos envolvidos
- Tendências verificadas
 - Para chuvas de curta duração ($<$ meia hora) \Rightarrow hietograma com grandes intensidades no início da precipitação.
 - Para chuvas de duração intermediária (de 1 a 10 horas) \Rightarrow hietograma com intensidades maiores na primeira metade da duração.
 - Para chuvas de grande duração ($>$ 10 horas) \Rightarrow hietograma apresenta intensidades mais uniformes



$$t_d = t_a + t_b$$

$$P = \frac{t_d * h}{2}$$

$$h = \frac{2P}{t_d}$$

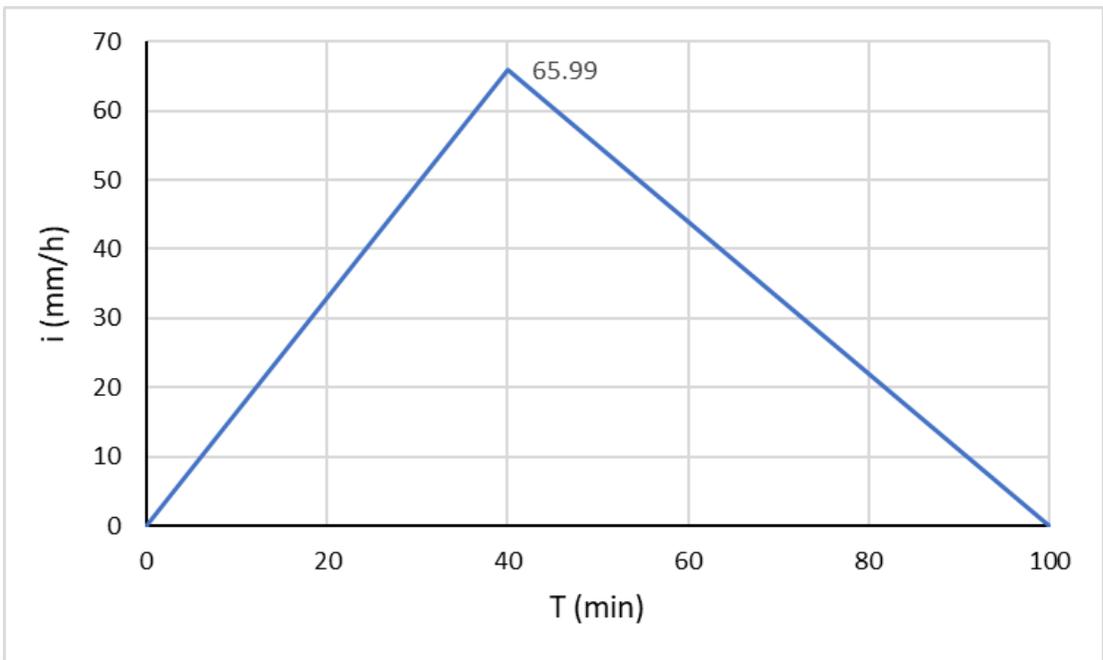
| Local' | $r = t_a/t_d$ | Referência |
|----------------------|---------------|--------------------------|
| Baltimore | 0,399 | McPherson (1958) |
| Chicago | 0,375 | Keifer e Chu (1957) |
| Chicago | 0,294 | McPherson (1958) |
| Cincinnati | 0,325 | Preul e Papadakis (1973) |
| Cleveland | 0,375 | Havens e Emerson (1968) |
| Gauhati, Índia | 0,416 | Bandyopadhyay (1972) |
| Ontário | 0,480 | Marsalik (1978) |
| Philadelphia | 0,414 | McPherson (1958) |
| Urbana, Illinois | 0,32-0,43 | Yen e Chow (1980) |
| Boston | 0,35-0,42 | Yen e Chow (1980) |
| Elizabeth City, N.C. | 0,36-0,45 | Yen e Chow (1980) |

Fonte: Chow, Maidment & Mays, 1988.

Determine o hietograma triangular para uma altura de precipitação total de 55 mm ocorrida em uma duração de 100 min, sabendo que o coeficiente de avanço é de 0,4.

$$h = \frac{2 \cdot P}{t_d} = \frac{2 \cdot 55}{1,67} = 65,99 \text{ mm/h}$$

$$r = \frac{t_a}{t_d} \therefore t_a = 0,4 \cdot 100 = 40 \text{ min}$$



- Seleciona-se a duração da tormenta (t_d) e o intervalo de discretização (Δt)
- Através da relação intensidade-duração-frequência, obtém-se a intensidade de chuva para cada duração
- As intensidades são transformadas em alturas de chuva e acumuladas até o último intervalo de tempo
- Calculam-se os incrementos dos totais acumulados por intervalo
- Os incrementos ou blocos obtidos são rearranjados numa sequência tal, que no centro da duração da tormenta, se situe o bloco maior, e em seguida os demais blocos são dispostos em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior, alternadamente

- Exemplo: tormenta de projeto para a cidade de São Paulo, com duração de 100 minutos, com intervalo de tempo de 10 minutos e para um período de retorno de 5 anos.
- IDF para a cidade de São Paulo (relação IDF de P. S. Wilken)

$$i = \frac{57,71 \cdot T^{0,172}}{(t + 22)^{1,025}}$$

i = intensidade média da chuva (mm/min)

T = período de retorno da chuva (anos)

t = duração da chuva (min)

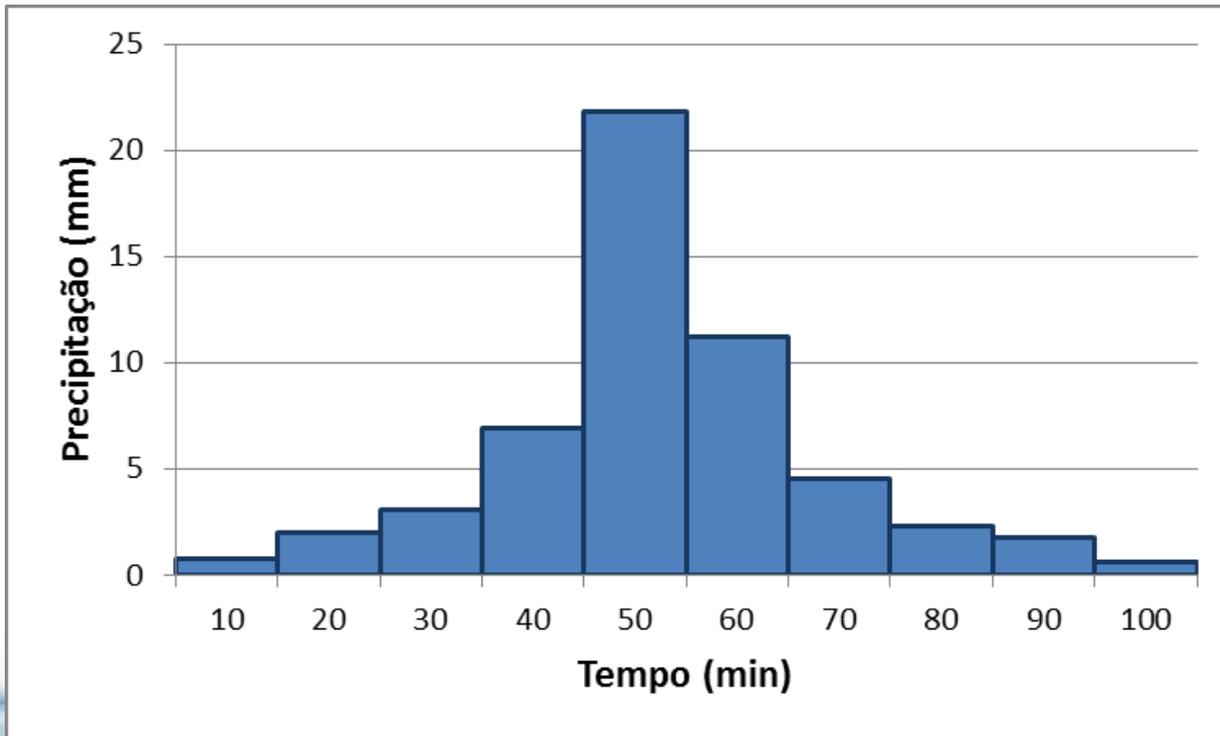
| Duração (min) | Intensidade da chuva (mm/min) | Altura de chuva acumulada (mm) | Incremento da altura (mm) | Intervalo considerado (min) | Hietograma de projeto (mm) |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 10 | 2,18 | 21,81 | 21,81 | 0 – 10 | 0,75 |
| 20 | 1,65 | 33,00 | 11,19 | 10 – 20 | 2,00 |
| 30 | 1,33 | 39,90 | 6,90 | 20 – 30 | 3,10 |
| 40 | 1,11 | 44,40 | 4,50 | 30 – 40 | 6,90 |
| 50 | 0,95 | 47,50 | 3,10 | 40 – 50 | 21,18 |
| 60 | 0,83 | 49,80 | 2,30 | 50 – 60 | 11,19 |
| 70 | 0,74 | 51,80 | 2,00 | 60 – 70 | 4,50 |
| 80 | 0,67 | 53,60 | 1,80 | 70 – 80 | 2,30 |
| 90 | 0,604 | 54,35 | 0,75 | 80 – 90 | 1,80 |
| 100 | 0,55 | 55,00 | 0,65 | 90 – 100 | 0,65 |

$$i = \frac{57.71xT^{0.172}}{(t + 22)^{1.025}} = \frac{57,7 \times 5^{0.172}}{(20 + 22)^{1.025}} = 1,65$$

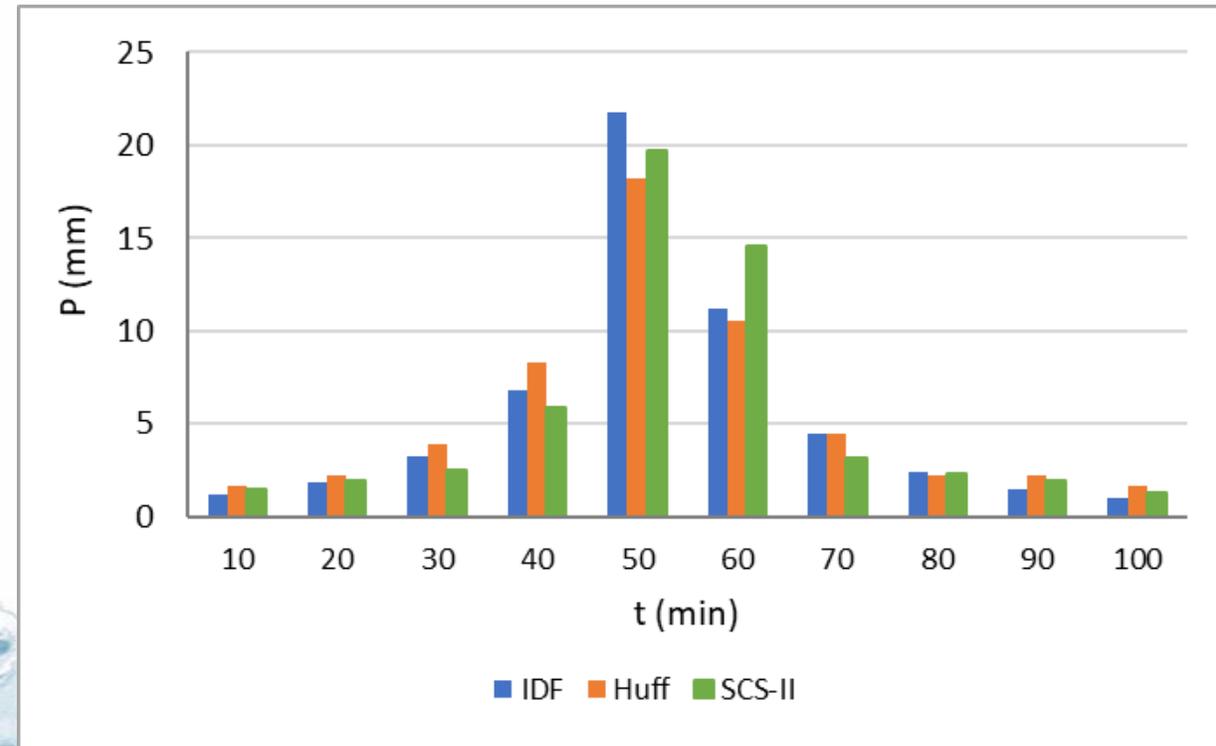
$$= 33,0 - 21,81 = 11,19$$

Precipitação de 55,33 mm

IDF Blocos alternados (duração 100 min, T = 5 anos)



Huff 1º Quartil – curva de 50% de probabilidade de ocorrência
USDA-SCS curva tipo II



13/Mar/2011 17:02

Nome: Arisvaldo Vieira Mélo Júnior - RG ou NºUSP: 468941 - [Principal] - [POLI] - [PHD2307] - [Sair] - Versão 2009.04.04.01

■ PHD-2307/PHD-2308

- ▶ Balanço Hídrico
- ▶ Bacias Hidrográficas
- ▶ Medição de Vazão
- ▶ Curva-Chave
- ▶ Polígonos de Thiessen
- ▶ Semestre Hidrológico
- ▶ Chuvas Intensas
- ▶ Curva de Permanência
- ▶ Modelo em Planilha
- ▶ Estatística
- ▶ SimRes
- ▶ Infiltração
- ▶ Evapotranspiração
- ▶ Escoamento Superficial Direto
- ▶ Hidrograma Unitário
- ▶ AMR
- ▶ Águas Subterrâneas
- ▶ ABC
- ⊕ Resumo
- Dúvidas Frequentes

Chuvas Intensas

- Data máxima para entrega: 28/03/2011
- Numero de Tentativas com Respostas Incorretas:

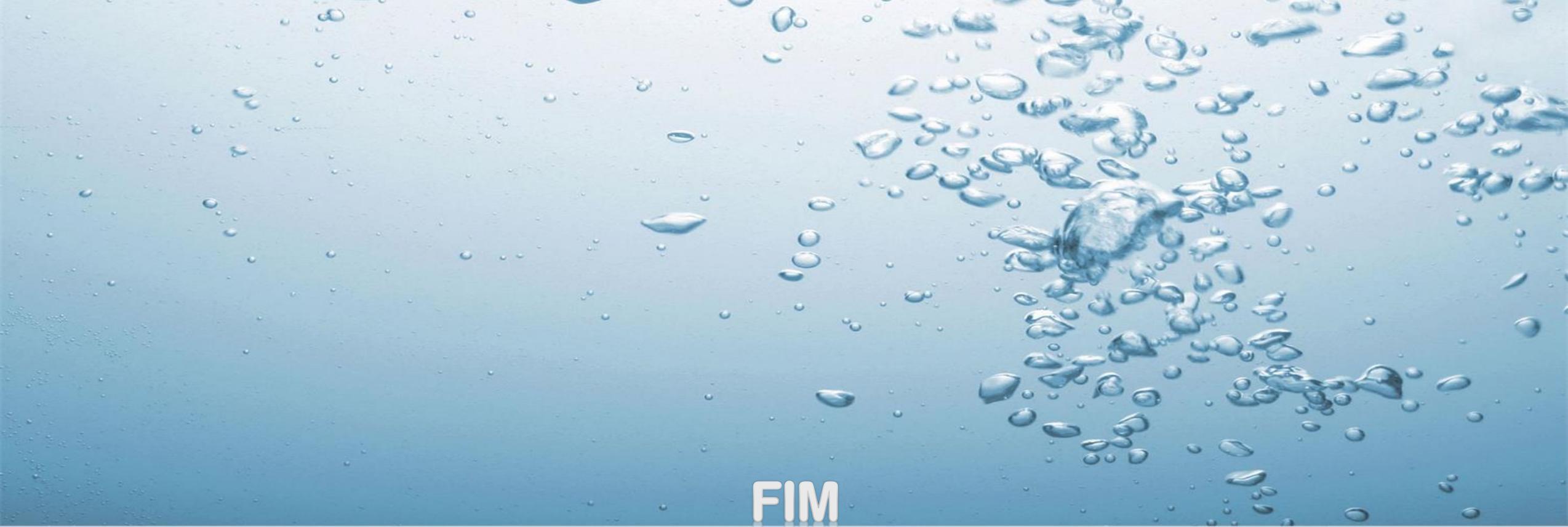
1. Calcule o hietograma de uma chuva com período de retorno de 50 anos e 5 horas de duração, na cidade de São Paulo (SP), pelo método dos blocos alternados.

$$i = 57.7 \times T^{0.172} / (t + 22)^{1.025}$$

Fonte: P.S.Wilken (Nelson Pinto)

i = intensidade média da chuva, em mm/min
t = duração da chuva, em min
T = período de retorno, em anos

| Duração (min) | Intensidade (mm/min) | Altura de chuva acumulada (mm) | Altura de chuva incremental (mm) | Intervalo considerado (min) | Hietograma de projeto (mm) |
|---------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 60 | | | | 0-60 | <input type="text"/> |
| 120 | | | | 60-120 | <input type="text"/> |
| 180 | | | | 120-180 | <input type="text"/> |
| 240 | | | | 180-240 | <input type="text"/> |
| 300 | | <input type="text"/> | | 240-300 | <input type="text"/> |



FIM

Referências

- Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. *Applied hydrology*. McGraw-Hill. 1988
- Coelho, G.A. Análise da não estacionariedade da precipitação em São Paulo / SP e implicações sobre os sistemas de drenagem urbana. São Paulo, 2014. Dissertação (Mestrado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. 185p.
- DAEE. CTH. Precipitações intensas no Estado de São Paulo. 2018.
- Huff, F.A. Time distribution rainfall in heavy storm *Water Resources Research*, v. 3, n. 4, 1967.
- Pfafstetter, O. Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas em 98 Postos com Pluviógrafos, Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento. 1956 426 p.
- United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. National Engineering Handbook. Part 630 Hydrology. Chapter 4: Storm Rainfall Depth and Distribution. 2015.

LabSid