

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ/USP
LEB 1440 – HIDROLOGIA E DRENAGEM**

Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 7

7 – ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS

7.1. Conceitos

a) Tipos de eventos:

Máximos: vazões, precipitações pluviiais, cotas de enchente, veranicos e estiagens longas.

Mínimos: vazões mínimas.

b) Probabilidade de Excedência (P) e Período de Retorno (T)

P – probabilidade de um evento de magnitude X exceder determinado limite (x)

T – período de retorno do evento de magnitude X $\left(T = \frac{1}{P}\right)$

Máximos: magnitude do evento é diretamente proporcional a T.

$$P(X \geq x) \quad \uparrow T \quad \uparrow X$$

Mínimos: magnitude do evento é inversamente proporcional a T.

$$P(X \leq x) \quad \uparrow T \quad \downarrow X$$

c) Risco de falha (J)

É o risco de uma obra ou estrutura falhar ao longo de toda sua vida útil (N).

$$J = 1 - (1 - P)^N$$

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Exemplos:

c.1) Um conjunto de terraços agrícolas foi projetado com período de retorno $T = 10$ anos. Qual é o risco de falha desses terraços para vidas úteis de 1, 5, 10, 25 e 100 anos?

$$\left. \begin{array}{l} T = 10 \\ N = 1 \end{array} \right\} J = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^1 = 0,1 \text{ ou } 10\%$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 10 \\ N = 5 \end{array} \right\} J = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^5 = 0,4095 \text{ ou } 40,95\%$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 10 \\ N = 10 \end{array} \right\} J = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{10} = 0,6013 \text{ ou } 60,13\%$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 10 \\ N = 25 \end{array} \right\} J = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{25} = 0,9282 \text{ ou } 92,82\%$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 10 \\ N = 100 \end{array} \right\} J = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{100} = 0,99997 \text{ ou } 99,997\%$$

c.2) Qual é o período de retorno que se deve considerar para que uma barragem com vida útil de 50 anos tenha risco de falha de 1%?

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \Rightarrow T = \frac{1}{[1 - (1 - J)^{1/N}]}$$

$$T = \frac{1}{[1 - (1 - 0,01)^{(1/50)}]} \cong 4975 \text{ anos}$$

7.2. Verificação da qualidade do ajuste

a) Testes:

- Kolmogorov-Smirnov
- Anderson-Darling
- Fator de ajuste (R^2)
- Reta 1:1 (Dados observados x estimados)

b) Reta feita a partir de três pontos (dados em formato de logaritmo)

- X versus T (magnitude x período de retorno)
- Períodos de retorno utilizados: mínimo, médio e máximo
- Comparação entre dados estimados e observados

7.3. Exercício – Ajuste de dados de vazões máximas e mínimas ao modelo de Gumbel

(ENTREGAR XEROX P/ ALUNOS) - RESOLUÇÃO DOS 3 PRIMEIROS ITENS

7.3.1. Preenchimento do quadro

7.3.2. Plotagem dos pontos

7.3.3. Obtenção de 3 pontos com o modelo de Gumbel

- Construção da reta Q x T no papel de Gumbel
- Verificação do ajuste

a) Máximos:

$$X = M_0 + \frac{1}{\alpha} \cdot \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}$$

$$\text{Dados: } \bar{X} = 297,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} = 0,0085$$

$$\sigma_x = 119,65 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Mo = \bar{X} - \frac{Y_n}{\sigma_n} \cdot \sigma_x = 237,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 15 \text{ dados}$$

$$\text{Tabela: } Y_n = 0,5128; \sigma_n = 1,0206$$

Pontos padronizados para obtenção da reta ajustada:

$$T = 1,1 \text{ anos} \quad \rightarrow \quad X = 135,20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 3,0 \text{ anos} \quad \rightarrow \quad X = 343,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 15,0 \text{ anos} \quad \rightarrow \quad X = 551,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Mínimos:

$$X = Mo + \frac{1}{\alpha} \cdot \left\{ + \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}$$

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} = 0,0661$$

$$Mo = \bar{X} + \frac{Y_n}{\sigma_n} \cdot \sigma_x = 68,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Dados: } \bar{X} = 60,49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sigma_x = 15,43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 15 \text{ dados}$$

$$\text{Tabela: } Y_n = 0,5128; \sigma_n = 1,0206$$

Pontos padronizados para obtenção da reta ajustada:

$$T = 1,1 \text{ anos} \rightarrow X = 81,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 3,0 \text{ anos} \rightarrow X = 54,59 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 15,0 \text{ anos} \rightarrow X = 27,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.3.4. Estimativa de vazões com a reta traçada (Método gráfico)

	Método gráfico	Método analítico
T = 10 anos →	$Q_{\max} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\max} = 501,55 \text{ m}^3/\text{s}$
T = 25 anos →	$Q_{\max} = 613 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\max} = 612,71 \text{ m}^3/\text{s}$
T = 100 anos →	$Q_{\max} = 775 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\max} = 777,30 \text{ m}^3/\text{s}$

7.3.5. Estimativa de Q7,10

Método gráfico: $Q_{7,10} = 33,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Método analítico: $Q_{7,10} = 34,2 \text{ m}^3/\text{s}$

7.3.6. Risco de falha (J) para vazão máximaResolução gráfica: $Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow T = 130 \text{ anos}$

$$N = 30 \text{ anos} \rightarrow J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N = 0,207 \text{ ou } 20,7\%$$

Resolução analítica: $X = 800 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow X = Mo + \frac{1}{\alpha} \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T}\right) \right] \right\}$

$$T = \frac{1}{1 - e^{-e^{\alpha(Mo - X)}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} X = 800 \\ Mo = 237,73 \\ \alpha = 0,0085 \end{array} \right\} T \cong 122 \text{ anos}$$

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{122}\right) = 0,2195 \text{ ou } 21,95\%$$

7.3.7. Estimativa de vazão mínima com risco preestabelecido

$$\left. \begin{array}{l} J = 20\% \text{ ou } 0,20 \\ N = 20 \text{ anos} \end{array} \right\} J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \Rightarrow T = \frac{1}{[1 - (1 - J)^{1/N}]} = \frac{1}{[1 - (1 - 0,2)^{1/20}]} \\ T \cong 90 \text{ anos}$$

$$Q_{7,T} (T = 90): X = Mo + \frac{1}{\alpha} \left\{ +\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T}\right) \right] \right\}$$

$$X = 68,24 + \frac{1}{0,0661} \left\{ +\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{90}\right) \right] \right\} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

8. Água Subterrânea e Poços

8.1. Classificação dos poços e aquíferos

a) Tipos de poços (TRANSPARÊNCIAS – TIPOS DE POÇOS)

→ Poço caipira (cisterna, cacimba, cacimbão, poço Amazonas etc.)

- Escavação manual
- Revestimento de concreto ou alvenaria
- Vazão baixa: 1,5 a 5,0 m³/dia
- Profundidade ≤ 30 m
- Diâmetro de boca = 1 a 2 m
- Custo: R\$ 3.000,00 a 5.000,00

→ Poço tubular profundo

- Revestimento com tubo geomecânico + areia de pré-filtro
- Próximo à boca (6 m finais): concreto (ancoragem)
- Profundidade: 50 a 150 m
- Diâmetro de boca: 10 a 50 cm
- Vazão média a alta: 5 a 50 m³/h
- Custo: R\$ 15.000,00 a 30.000,00

Obs.: Poços tubulares para Aquífero Guarani

- Profundidade: pode superar 1000 m
- Custo: US\$ 400.000,00
- Vazão: até 800 m³/h

b) Tipos de aquíferos

- Livres ou freáticos
- Confinados (FIGURA – CADERNO - AQUÍFEROS)
- Semiconfinados
- Aquífero Passa-Dois (região de Piracicaba)

- Água salobra (formado em era geológica em que o Oceano Atlântico cobria SP)

(TEXTO – AQUÍFEROS DE SP – ENVIAR AOS ALUNOS)

(TRANSPARÊNCIA – AQUÍFEROS DE SP)

Prospecção de água:

- Método empírico: radiestesia
- Método científico: detecção de lineamentos (fotos aéreas)
 - SP: rachaduras no sentido SE-NW

c) Nomes populares dos poços tubulares profundos:

- Artesiano: poço tubular profundo confinado e jorrante
- Semiartesiano: poço tubular profundo não jorrante; pode ser em aquífero livre, confinado ou semiconfinado

d) Técnicas de escavação de poços:

d.1) Percussão: mais antigo
dezenas de m/dia

(TRANSPARÊNCIA – MÉTODOS DE ESCAVAÇÃO)

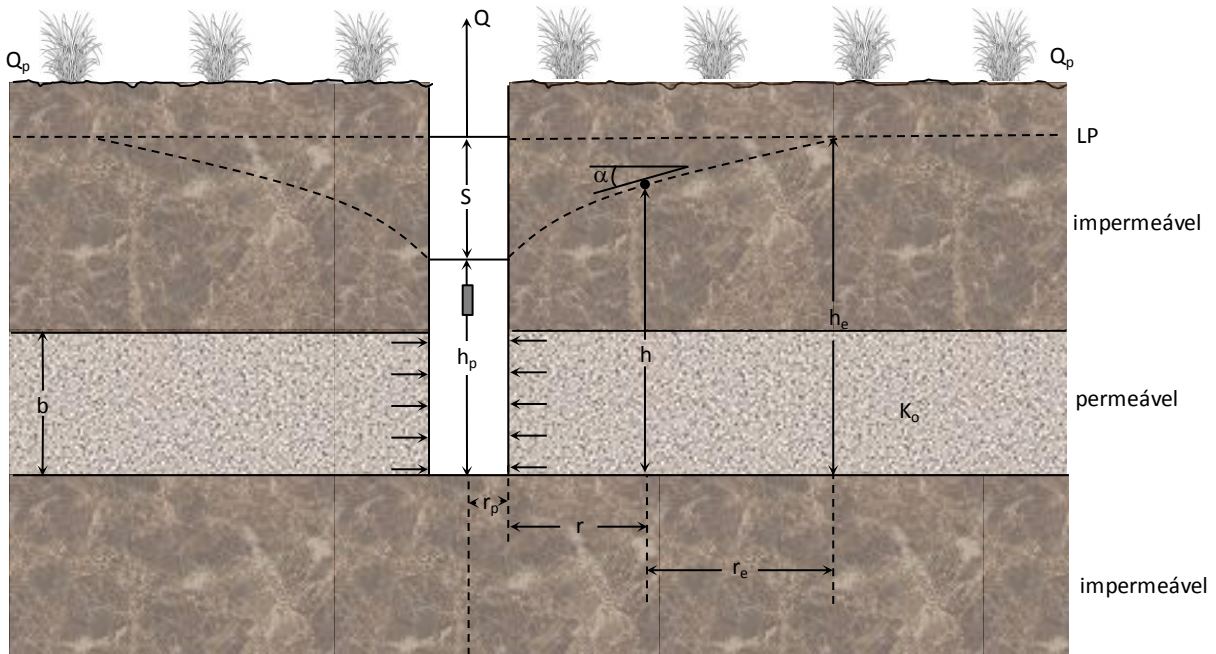
d.2) Percussão: mais eficiente
centenas de m/dia
(FOTOS – PERFURAÇÃO DE POÇO)

e) Bombas utilizadas em poços tubulares profundos:

(TRANSPARÊNCIA – BOMBAS P/ POÇOS)

- de ar comprimido
- tipo turbina – motor na superfície
- submersível (axial) – motor no poço

8.2. Expressão da vazão em poço confinado



$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K_o \cdot b \cdot (h_e - h_p)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_p}\right)}$$

Q – vazão do poço, m^3/s

K_o – permeabilidade do meio poroso, m/dia

b – espessura do aquífero confinado, m

h_e – nível estático do poço, m

h_p – nível dinâmico do poço, m

r_e – raio de influência, m

r_p – raio do poço, m

8.3. Expressão da vazão em poço livre

(CADERNO – FIGURA – POÇO LIVRE)

$$Q = \frac{\pi \cdot K_o \cdot (h_e^2 - h_p^2)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_p}\right)}$$

8.4. Distância mínima entre poços: 300 m (DAEE – 500 m)

- Motivo: cone de depressão e interferência na produção de água

(ARQUIVOS – SLIDES E TEXTOS SOBRE ÁGUA SUBTERRÂNEA)

8.5. Teste da cacimba

- Fazer no fim do período de seca

(CADERNO – FIGURA – POÇO CAIPIRA)

- Esvaziar o poço durante todo o dia (formação do cone de depressão)

- Medir o tempo para o nível do poço subir determinada altura (Δh)

$$Q = \frac{\pi \frac{D^2}{4} \cdot \Delta h}{\Delta t}$$

Obs.: Capítulos para a 2ª prova:

4 – Vazão dos cursos de água

5 – Reservatórios

6 – Eventos extremos

7 – Água subterrânea