

O uso de curvas de permanência, vazões mínimas e curvas de recessão para quantificação de fluxos de base

Prof. Sergio Koide
skoide@unb.br

- Q em postos fluviométricos,
longos períodos → TENDÊNCIAS
- Similaridade com precipitações
- CHUVA - baixa correlação (horas ou dias)
- VAZÕES - correlação maior (horas, dias, meses)
- → Estudos estatísticos / estocásticos - eventos não são independentes

- FLUVIOGRAMA
- Bacias de grandes áreas - vazões médias mensais
- bacias de pequenas áreas - vazões médias diárias/semanais

Determinação dos períodos de seca e cheia

Análise das secas e cheias

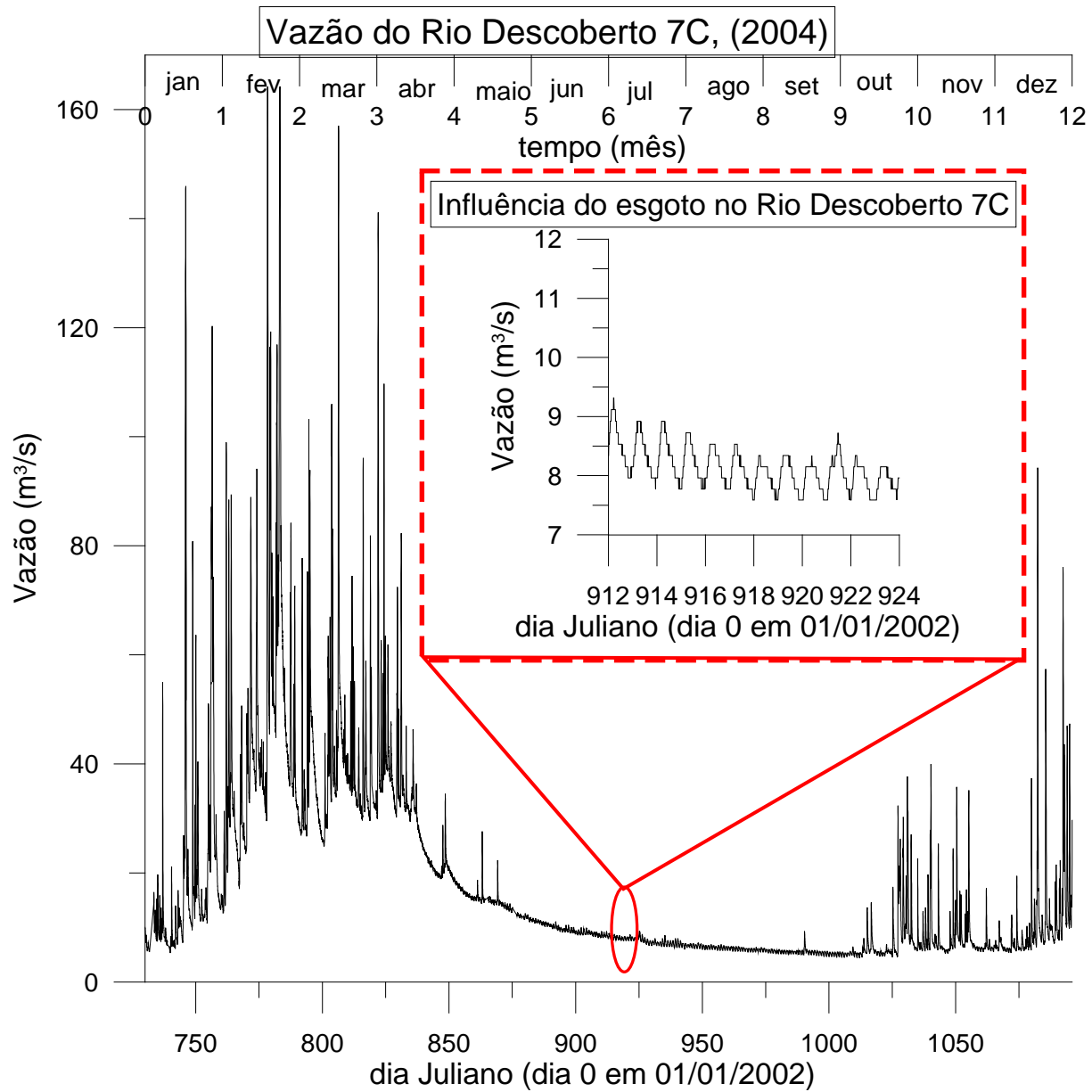
Determinação de vazões outorgáveis

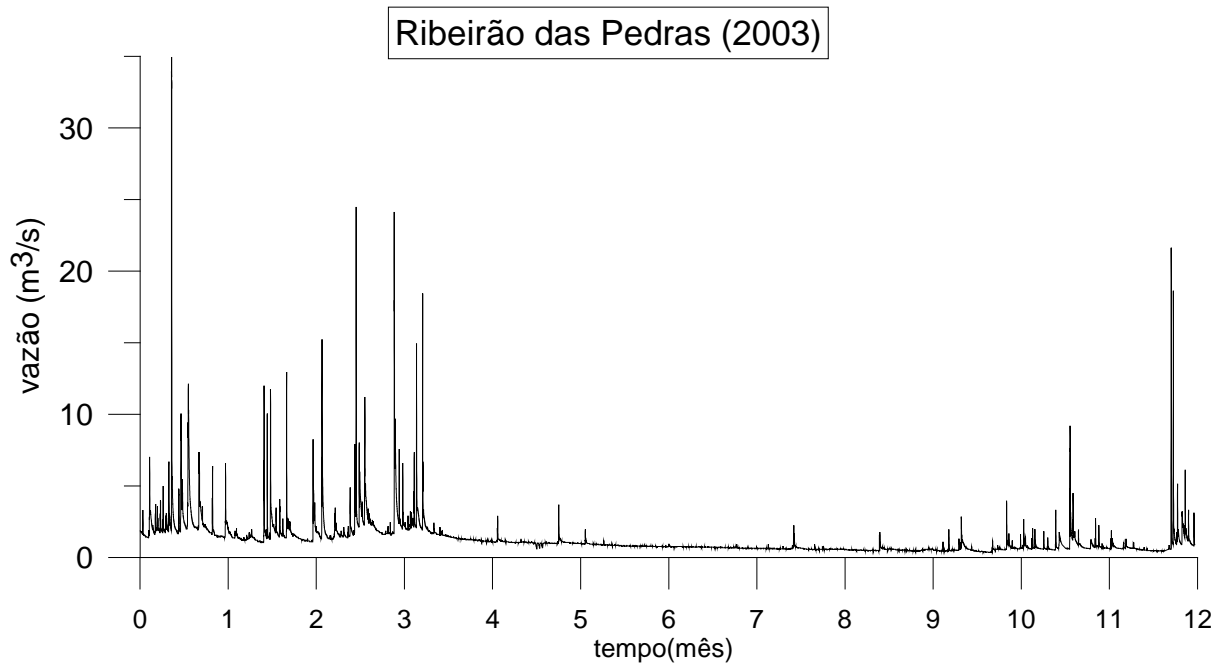
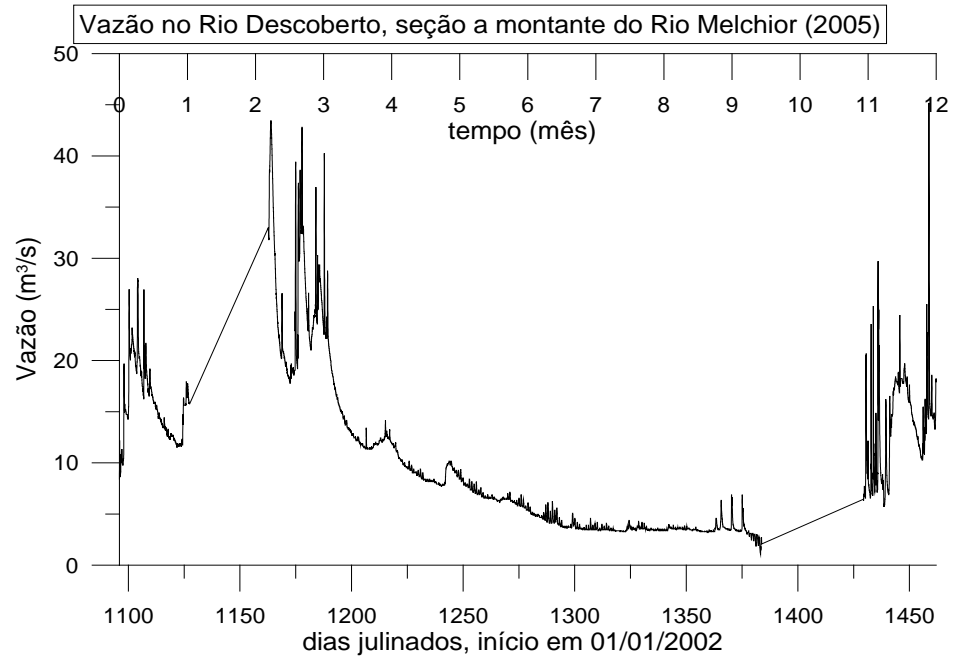
Determinação de vazões mínimas a serem mantidas nos rios:

vazões em TVR

vazões remanescentes

vazões ecológicas





CURVA DE PERMANÊNCIA

As vazões (diárias, mensais ou anuais) podem ser classificadas e organizadas segundo uma distribuição de freqüências (**NÃO CRONOLÓGICA**)

CURVA DE PERMANÊNCIA - acumulação das freqüências das classes sucessivas em um gráfico, contra os limites inferiores dos respectivos intervalos de classe
Indica a **porcentagem do tempo em que uma determinada vazão foi igualada ou superada** durante o período de observação

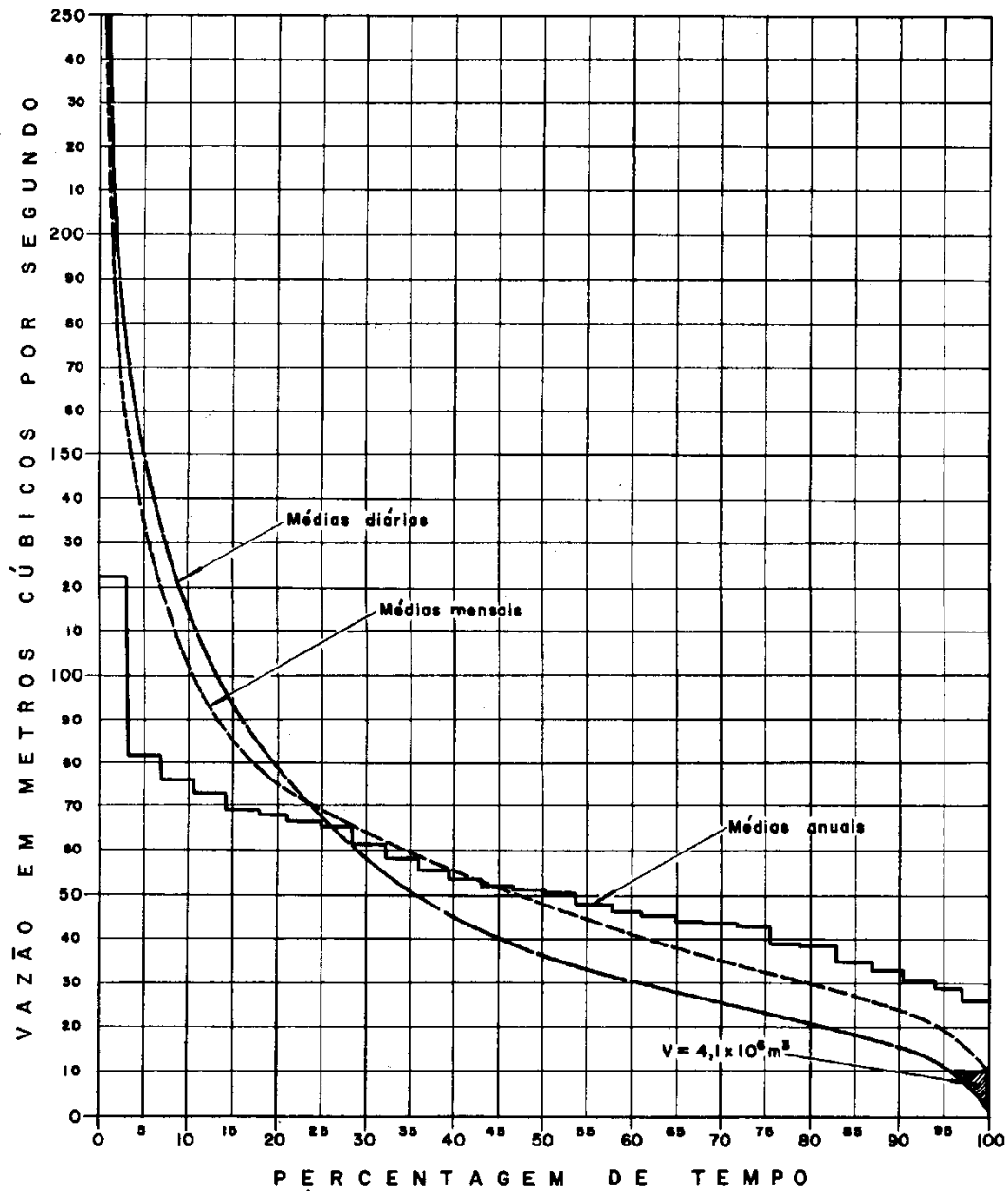


Figura 9-3. Curvas de permanência das descargas do rio Iguazu, em Porto Amazonas, para o período 1941-1968

(Souza Pinto et al., 1976)

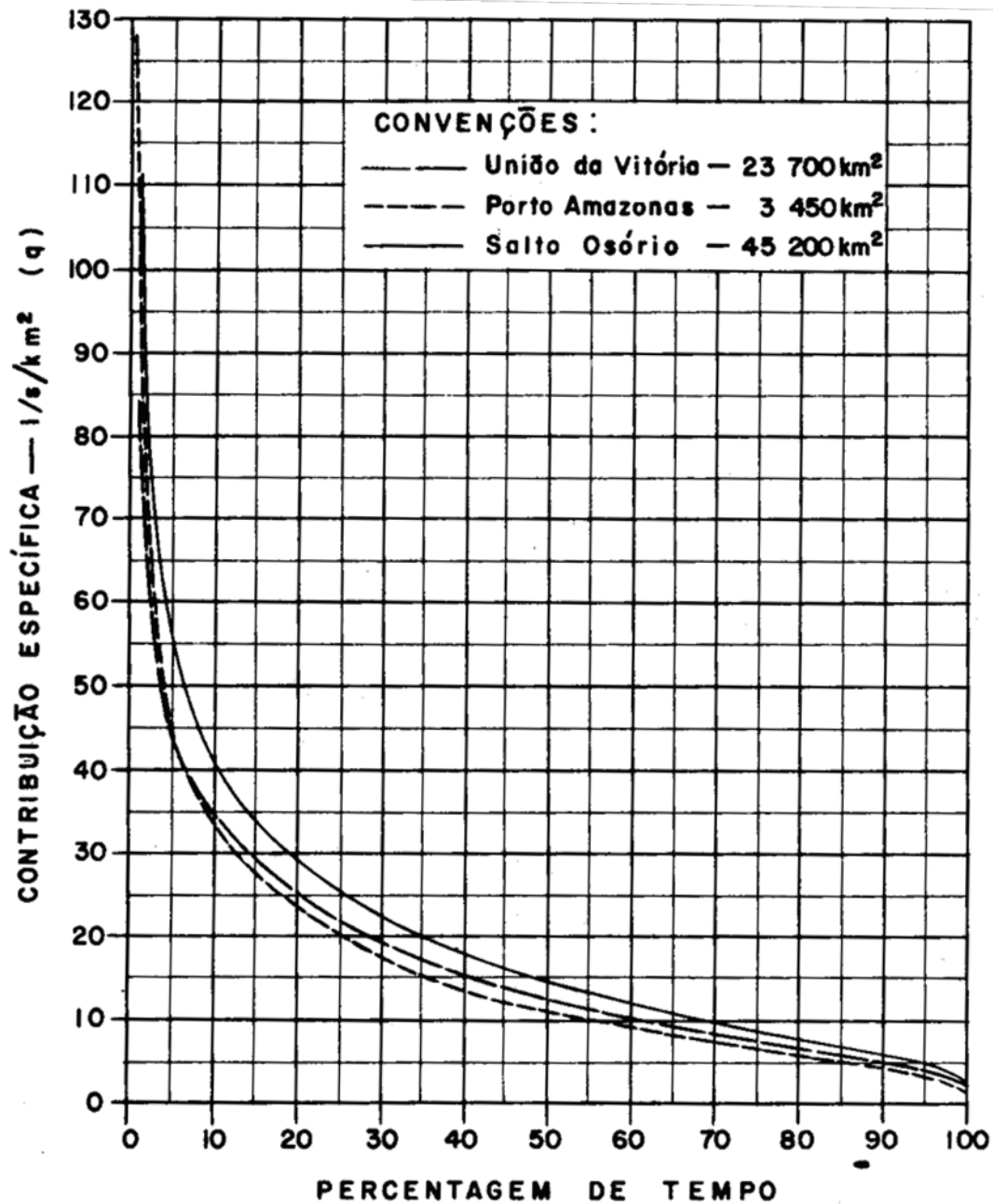


Figura 9-4. Curvas de permanência em termos de descargas específicas. Rio Iguaçu

ELABORAÇÃO DA CURVA

Q_{ij} $i=\text{ano}= 1, 2, \dots n$ $N=\text{número de dados}=12n$
 $j=\text{mês}= 1, 2, \dots 12$

Ordenação dos valores

$$Q_1 \geq Q_2 \geq \dots \geq Q_N$$

Q_1 máxima vazão observada

Q_N mínima vazão observada

$$\Delta x = \frac{\ln Q_1 - \ln Q_N}{m}$$

m = número de intervalos de classe referência $N^{0,5}$

Δ = amplitude do intervalo

Limites de cada intervalo: $Q_{(i+1)} = e^{(\ln Q_{(i)} + \Delta x)}$

ELABORAÇÃO DA CURVA

Q_{ij} $i=\text{ano}= 1, 2, \dots n$ $N= \text{número de dados}=12n$
 $j=\text{mês}= 1, 2, \dots 12$

Ordenação dos valores

$$Q_1 \geq Q_2 \geq \dots \geq Q_N$$

Q_1 máxima vazão observada

Q_N mínima vazão observada

$$\Delta = \frac{Q_1 - Q_N}{m}$$

$m=$ número de intervalos de classe referência $N^{0,5}$

$\Delta=$ amplitude do intervalo

Ex. : Seja uma série com 30 anos de dados mensais, em que a máxima vazão é de 420 m³/s e a mínima 20 m³/s. Se dividirmos os dados em 20 intervalos de classe teremos

$$\Delta = \frac{Q_1 - Q_N}{m} = \frac{420 - 20}{20} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

INTERVALO	FREQÜÊNCIA	%FREQ.	%ACUM
420-400	1	1/360	1/360
400-380	0	0	1/360
380-360	0	0	1/360
360-340	1	1/360	2/360
340-320	0	0	2/360
320-300	2	2/360	4/360
:			

- Cada ocorrência corresponde a 1 tempo (mês, ano)
- Tempo total = Σ frequências
- Σ frequências em geral é expresso em termos de porcentagem do tempo total
- Em geral a curva de permanência segue uma distribuição log-normal
- Quanto $>$ intervalo $\Delta <$ a variação de Q
- Estudos comparativos de diferentes bacias descargas específicas
- Curvas adimensionais

- SisCAH (UFV - ANA)

<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/SISCAHManual.pdf>

<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>

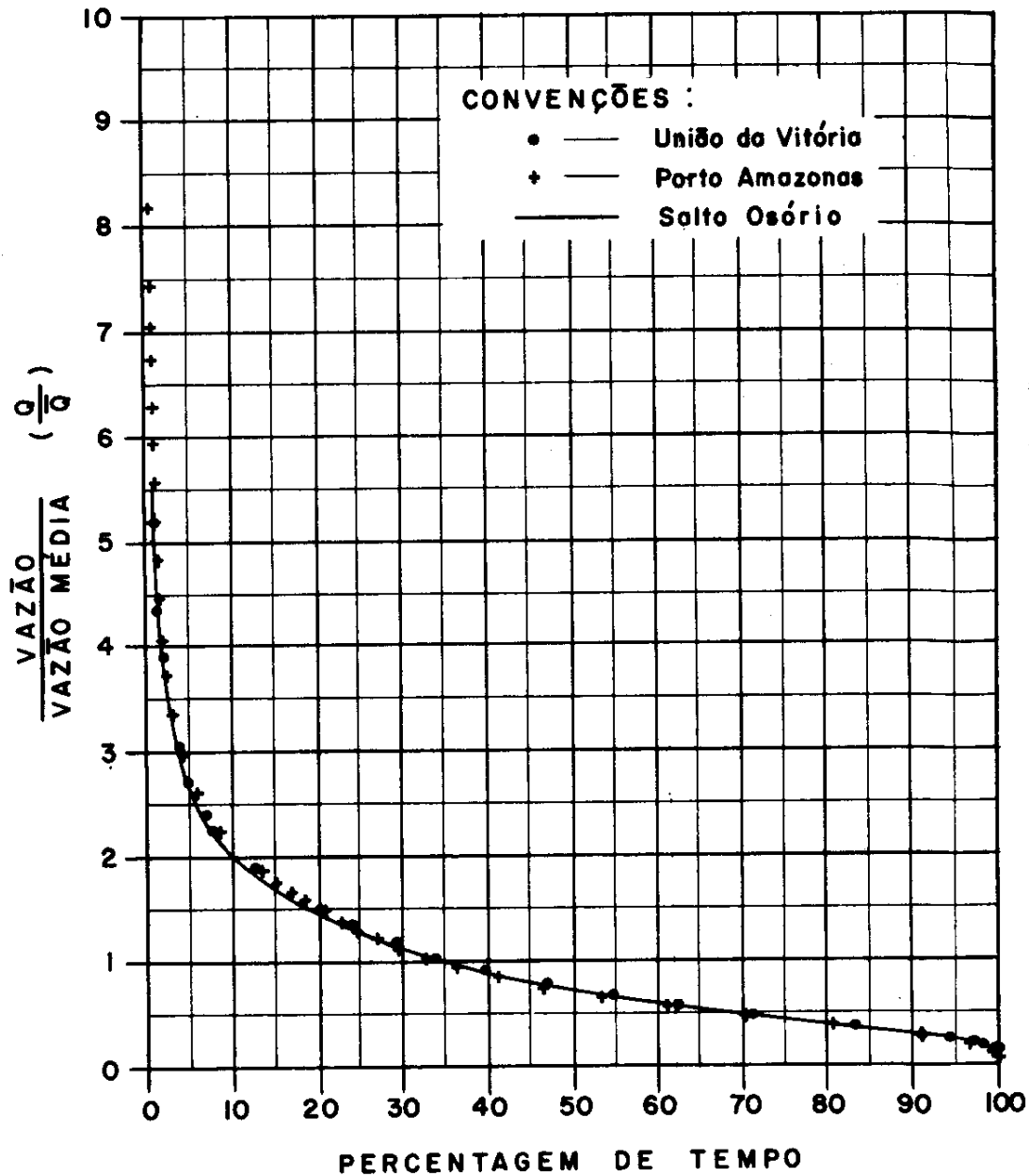


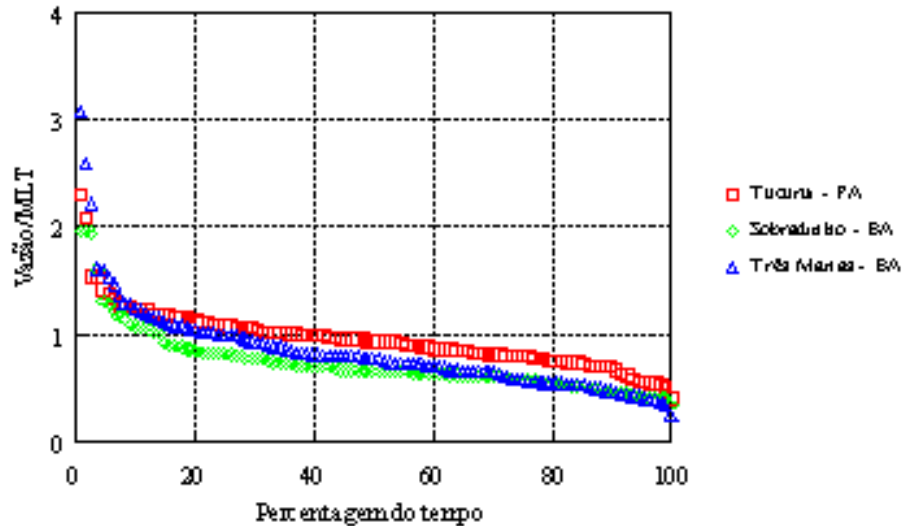
Figura 9-5. Curvas de permanência em relação à vazão média. Rio Iguazu

- **USOS DA CURVA**

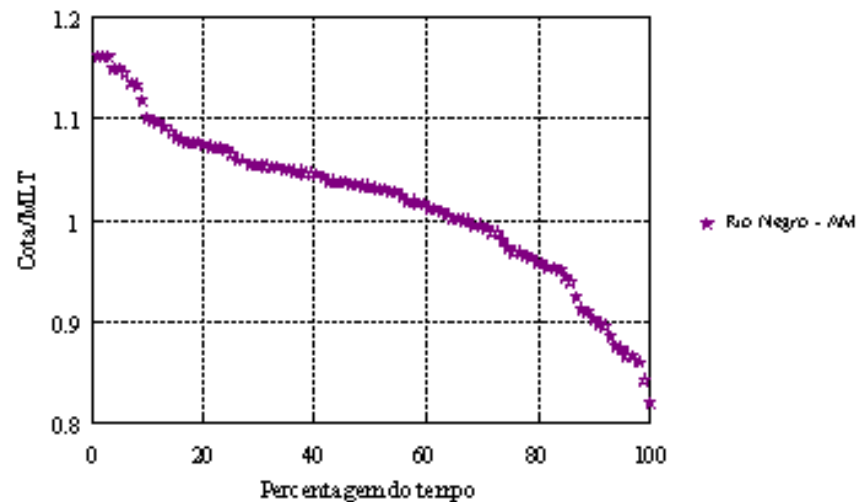
- fixação de limites de uso das águas dos cursos d'água
- Q_{90} Q_{95}
- Outorga

ANÁLISE DE UM DADO PERÍODO jun87-jun96 (Mendiondo (ano?))

Dividiu-se mês a mês os valores pela média de longo termo (MLT) correspondente ao mês considerado. A MLT foi obtida a partir das observações no período 1931-1984

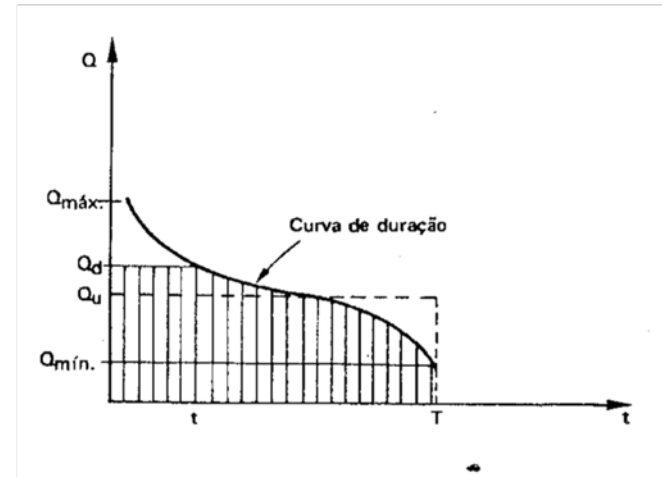
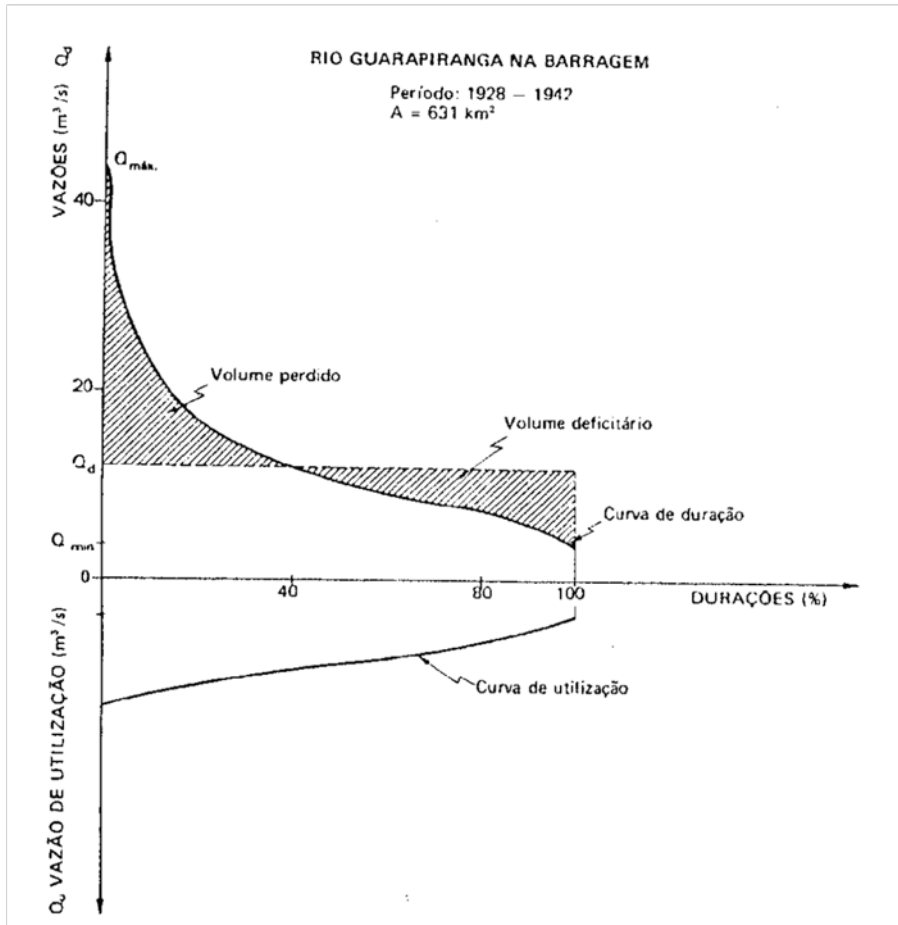


No caso de Tucuruí, as vazões dos últimos 10 anos permaneceram apenas 32 % do tempo acima da MLT. No caso de Sobradinho e Três Marias, o tempo de permanência acima da média histórica cai a 14 e 24 % respectivamente. As vazões dos últimos 10 anos apresentaram, de uma forma consistente, valores **abaixo** da média histórica.



O Rio Negro apresentou vazões acima da MLT 68 % do tempo, o que pode indicar a ocorrência de uma **década úmida** na Amazônia. A curva apresenta extrema regularidade, o que era de se esperar considerando o tamanho da bacia hidrográfica tributária do Rio Negro

CURVA DE UTILIZAÇÃO



Villela e Mattos, 1975)

$$Q_u = \frac{1}{T} \left(Q_d t_0 + \int_{t_0}^T Q dt \right)$$

T – período de dados

Q_d – vazão derivada

t_0 – tempo em que $Q=Q_d$

Previsão de vazões mínimas

- $(Q_{7,10})$ Vazões diárias, média móvel de 7 dias, com 10 anos de tempo de recorrência

Médias móveis de 4 (Q_4)

1	2	3	2	3	6	1	2	5	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



2	2,5								
---	-----	--	--	--	--	--	--	--	--

Previsão de vazões mínimas

- $(Q_{7,10})$ Vazões diárias, média móvel de 7 dias, com 10 anos de tempo de recorrência

Médias móveis de 4 (Q_4)

1	2	3	2	3	6	1	2	5	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

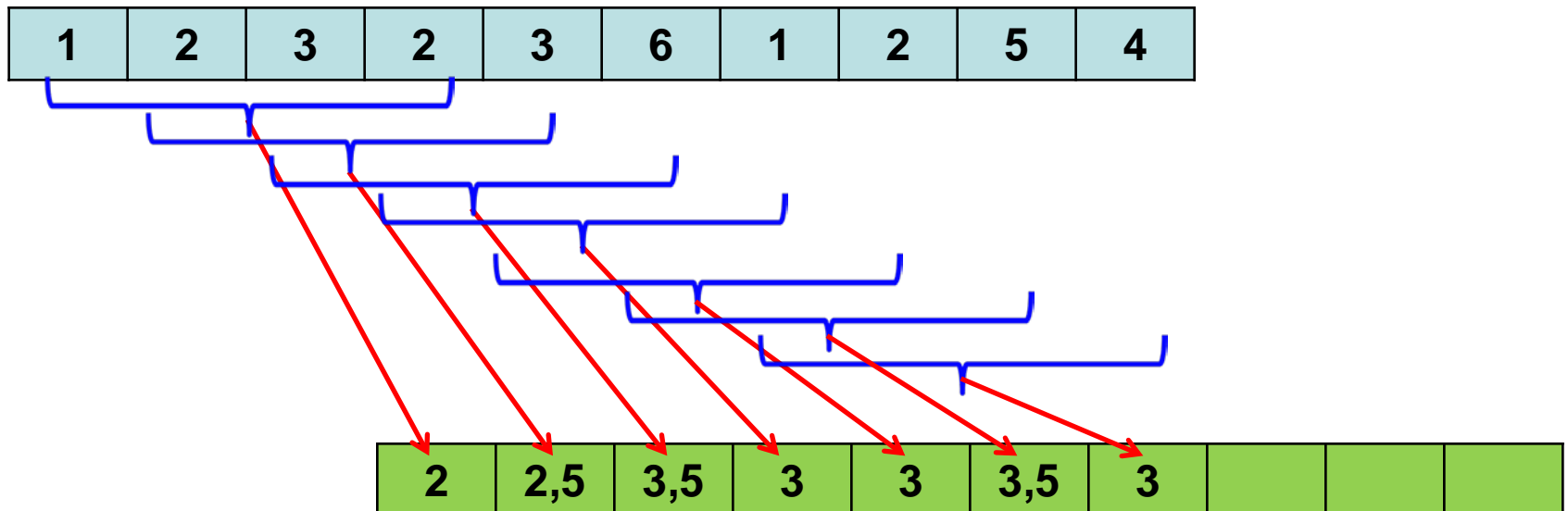


2	2,5	3,5							
---	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--

Previsão de vazões mínimas


- $(Q_{7,10})$ Vazões diárias, média móvel de 7 dias, com 10 anos de tempo de recorrência

Médias móveis de 4 (Q_4)



Previsão de vazões mínimas

Como prever? Existência de dados de vazão diária anteriores

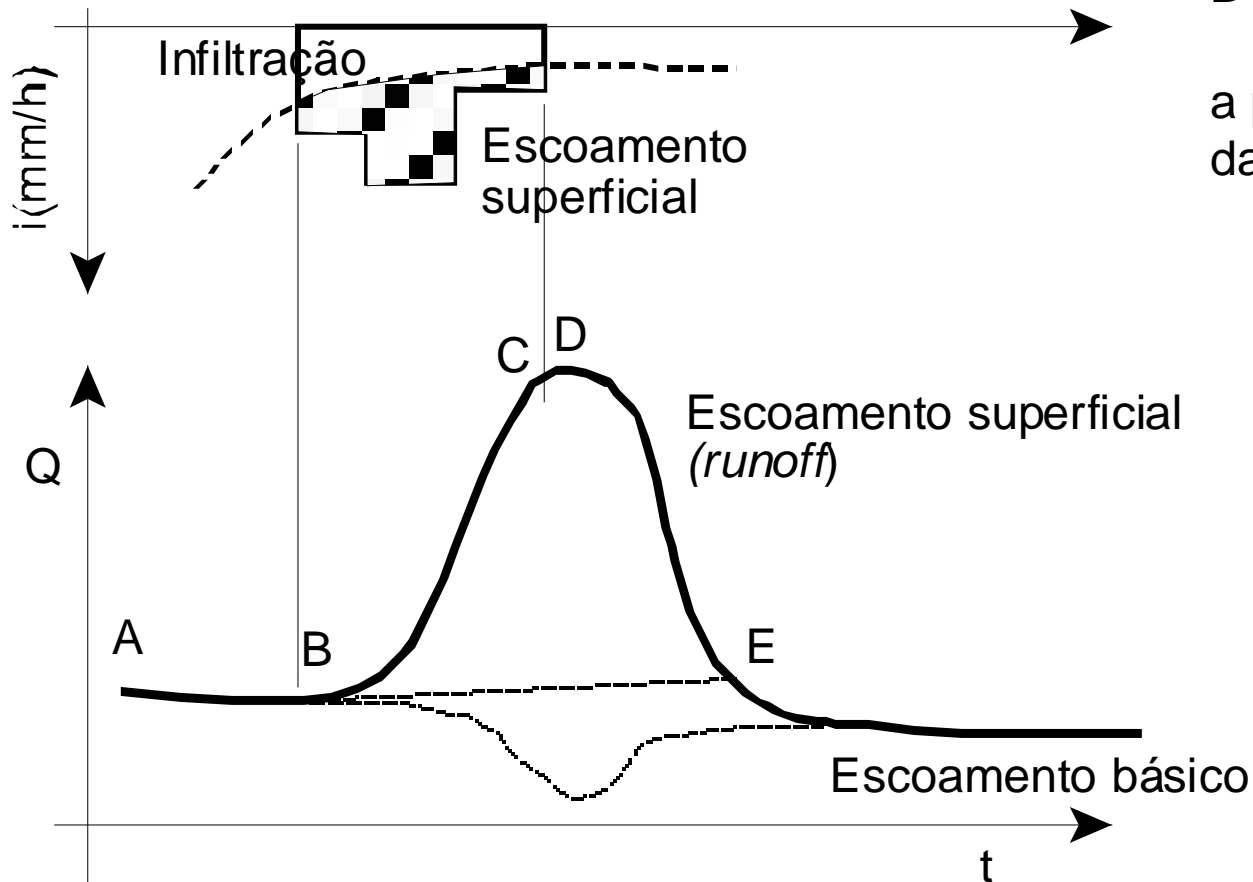
- 1) Transformar os dados de vazão diária em uma série diária de vazões médias de 7 dias
- 2) Para cada ano, selecionar o menor valor  série de mínimas anuais
- 3) Verificar a aderência da série a uma distribuição de probabilidades GEV (distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos)

SISCAH; ver artigos em revistas

CURVAS DE RECESSÃO

HIDRÓGRAFA

Variação da vazão no tempo



A-B - escoamento subterrâneo
(escoam. de base)

B - início escoam. superficial

a partir de D apenas parte
da bacia contribui

Como separar?

HIDRÓGRAFA

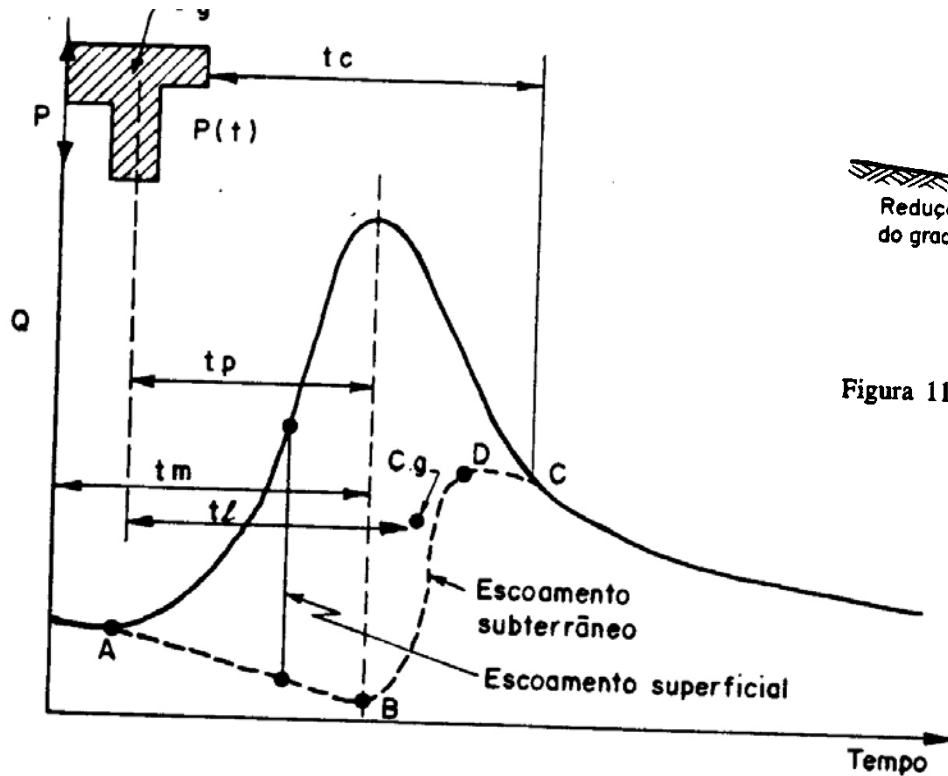


Fig. 11.1. Hidrograma tipo

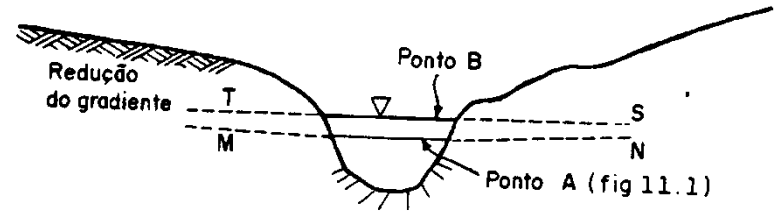
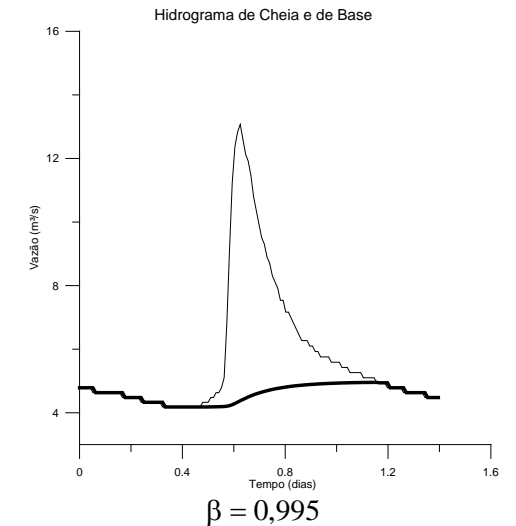
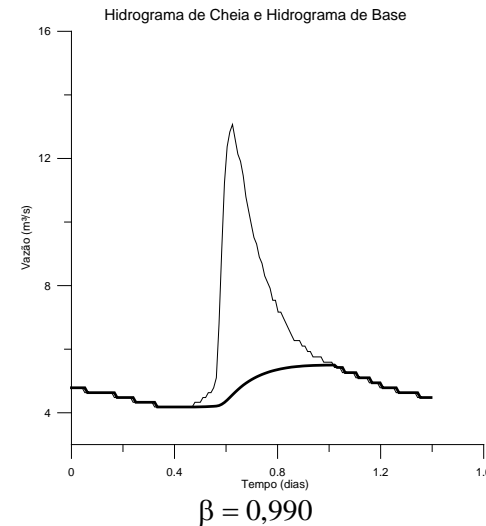
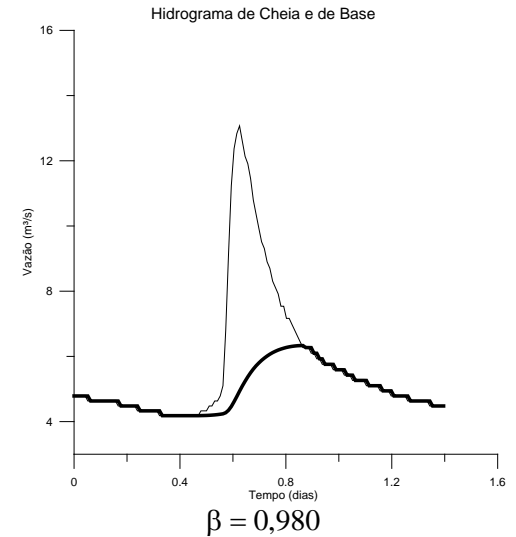
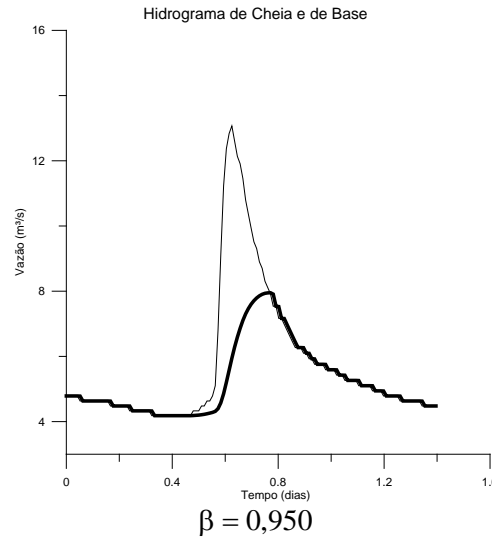


Figura 11.2. Variação do nível do aquífero

HIDRÓGRAFA

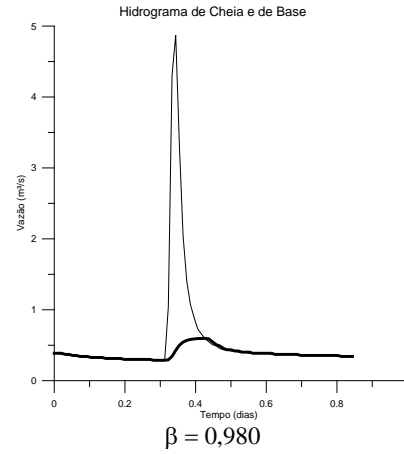
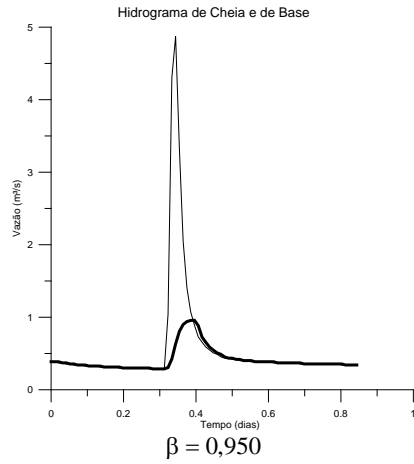
$$q_t = \beta \times q_{t-1} + \frac{(1 + \beta)}{2} \times (Q_t - Q_{t-1})$$

- Arnold, J.G. e Allen, P.M. (1999). “Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records”. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 35, n. 2, pp. 411-424.
- Wittenberg, H. e Sivaplan, M. (1999). “Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and base flow separation”. *Journal of Hidrology* 219 pp. 20-33.
- Rutledge, A. T. (1998). *Computer programs for describing the recession of ground-water discharge and for estimating mean groundwater recharge and discharge from streamflow records – update*. USGS Water-Resources Investigations Report, 98-4148. 52 p.
- Santos (2007) Determinação de Escoamentos Mínimos e Separação de Escoamentos de Base na Bacia do Rio Descoberto. UnB. Monografia de Projeto final de Graduação.

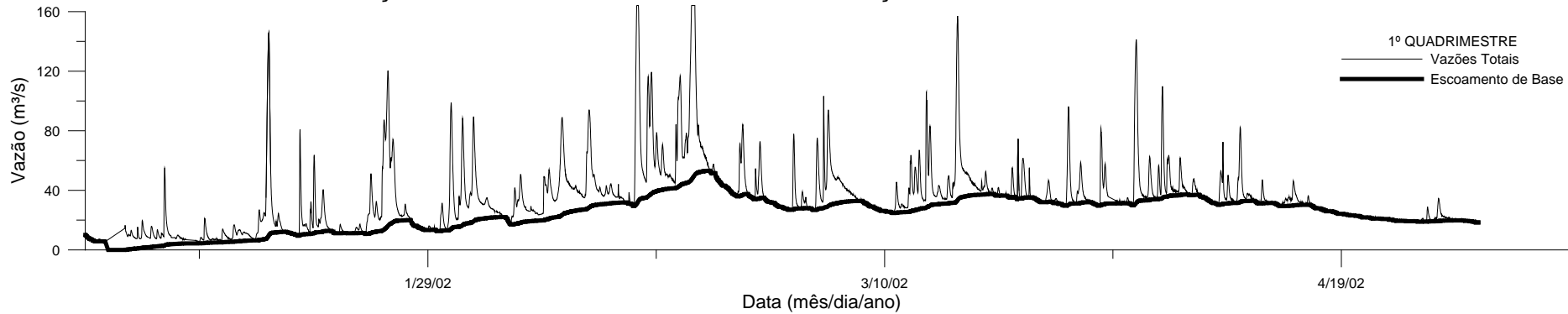


Cuidado! São filtros matemáticos que não conhecem hidrologia!

HIDRÓGRAFA



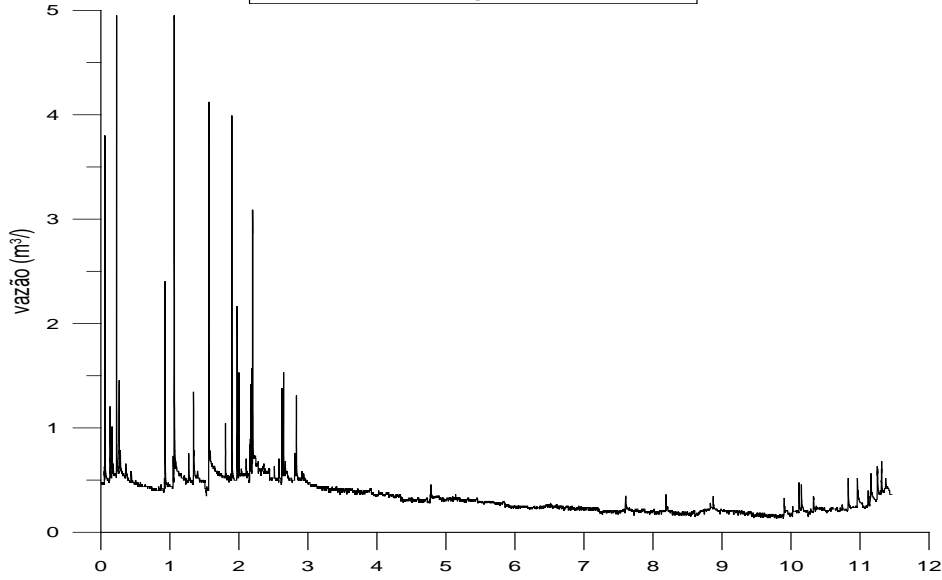
SEPARAÇÃO DE ESCOAMENTO DE BASE PARA A SEÇÃO SETE CURVAS NO ANO DE 2004



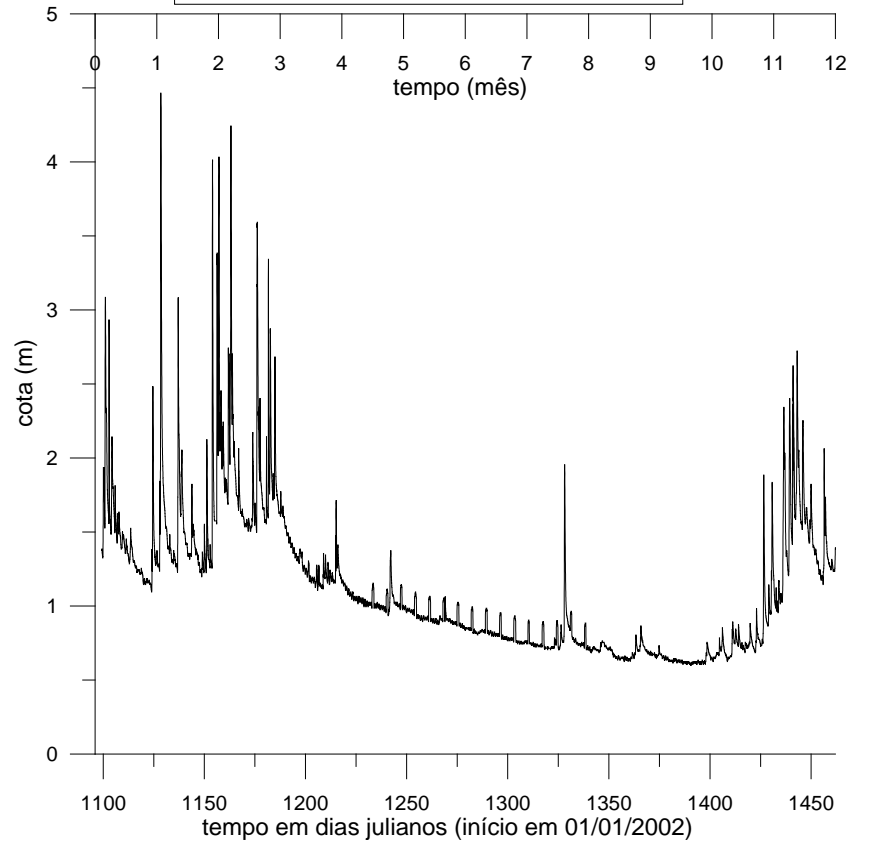
PROBLEMAS

- Vazões naturais – como conhecer, se as vazões são medidas na calha do rio?

Vazão do Córrego Olaria (2005)



Cotograma do Ribeirão Rodeador (2005)



PROBLEMAS

- Vazões naturais – como conhecer, se as vazões são medidas na calha do rio?
 - Estimativa / medição de captações e derivações?
 - Soma de outorgas?
 - Imagens satélite?
- Alteração das vazões devidas às alterações de uso e ocupação da solo
- Alteração das vazões por mudanças climáticas – as séries, a longo prazo, podem ser consideradas estacionárias?

Obrigado pela atenção!

Email para contato: skoide@unb.br

OUTORGA

ESPIRITO SANTO

- **Vazão de referência:**
- Rios perenes: $Q_{7,10}$ - vazão mínima média de sete dias consecutivos de duração e tempo de retorno de dez anos;
- Rios intermitentes: Q_{90} - vazão igualada ou excedida em 90% do tempo.
- **Vazão máxima outorgável:**
- Somatório das vazões captadas por todos os usuários (vazões outorgadas): 50% da vazão de referência;
- Manutenção de vazão residual mínima: 50% da vazão de referência;
- Quando houver armazenamento (barragem): pode ser outorgada vazão maior, desde que o fluxo residual mínimo: 50% da vazão de referência;
- Vazão máxima individual para um mesmo uso: 25% da vazão de referência.

OUTORGA

Tabela 2 – Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais.

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
ANA	70% da Q_{95} podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério.	1,0 L/s	Resolução ANA 542/2004
SRH-BA	80% da Q_{90} 20% para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/97	0,5 L/s	Decreto Estadual 6.296/97
SRH-CE	90% da Q_{90reg}	Decreto Estadual nº 23.067/94	2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 23.067/94
SEMARH-GO	70% da Q_{95}	Não possui legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99.	1,0 L/s para a maior parte do Estado e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais) 10,0m³/dia (águas subterrâneas)	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
AAGISA-PB	90% da Q_{90reg} . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual 19.260/1997	2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	50% da Q_{95}	Decreto Estadual 4646/2001	1,0 m³/h (0,3 L/s)	
SECTMA-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica.	0,5 l/s ou 43 m³/dia (águas superficiais) 5,0m³/dia (águas subterrâneas para abastecimento humano)	Decreto Estadual 20.423/98
SEMAR-PI	80% da Q_{95} (Rios) e 80% da Q_{90reg} (Açudes)	Não existe legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
SERHID-RN	90% da Q_{90reg}	Decreto Estadual Nº 13.283/97	1,0 m³/h (0,3 L/s)	Decreto Estadual Nº 13.283/97
SEMA-RS	Não está definido	-	Media mensal até 2,0m³/dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 42047/2002
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$.	Não existe legislação específica.	5,0m³/dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 32.955/91
SEPLANTEC-SE	100% da Q_{90} 30% da Q_{90} para cada usuário individual	Não existe legislação específica	2,5m³/h (0,69 L/s)	Resolução Nº 01/2001
NATURATINS-TO	75% Q_{90} por bacia. Individualmente o máximo é 25% da mesma Q_{90} . Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada.	Decreto estadual já aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.	0,25L/s ou 21,60m³/dia. A minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1,0L/s ou 21,60m³/dia	Portaria NATURATINS nº 118/2002

OUTORGA

DF - RESOLUÇÃO/ADASA Nº. 350 de 23 de junho de 2006

Art. 7º. Para os usos de águas superficiais, ficam estabelecidos, para o somatório das vazões a serem outorgadas em um mesmo curso de água, os seguintes limites máximos:

I – até 80% (oitenta por cento) das vazões de referência **Q7,10, Q90, ou Q (médias das mínimas mensais)**, quando não houver barramento;

II – até 80% (oitenta por cento) das vazões regularizadas, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes.

§2º Nos casos de **abastecimento humano**, os limites dos incisos I e II poderão atingir até **90% (noventa por cento) da vazão de referência**.

§3º No caso do inciso II a vazão remanescente de **20% (vinte por cento)** das vazões regularizadas deverá escoar para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que **não inclua bombas de recalque**.

§4º Fica limitado a um **único usuário vazão de 20%** (vinte por cento) da vazão total outorgável do trecho de curso d'água, considerado para cálculo da disponibilidade hídrica. Para atender a usos prioritários, coletivos ou em razão do número de usuário e disponibilidade hídrica poderá ser ampliado o limite de 20%.

§5º O outorgado deverá se responsabilizar pelo padrão de qualidade e potabilidade da água para cada uso pretendido, providenciando junto aos órgãos competentes as autorizações e certificações quanto à qualidade exigida para cada uso.