

Reservatórios

Luisa Fernanda Ribeiro Reis

Resumo

- 1. Por que regularizar?
- 2. Reservatórios: níveis operacionais e volumes característicos
- 3. Definições:
 - Período crítico
 - Produção
- 4. Dimensionamento de reservatórios
 - método do diagrama de massas (Rippl)
 - Método dos picos sequenciais
 - Método do período crítico
 - Método das tangentes
- 5. Operação de reservatórios
- 6. Exercício
- 7. Considerações finais

Introdução

- Geralmente há disponibilidade de água:
 - em *locais e épocas distintos da demanda* ou
 - *de* qualidade inapropriada ao consumo a que se destinaria
- O que fazer?
- Manipular o ciclo hidrológico
 - obras de engenharia:
 - Transporte (canais, condutos forçados, etc...)
 - Reservação (reservatórios)
 - » (ano 3000 a.c. o Rio Nilo é represado)



Aula de hoje

1. Por que regularizar?

Mais antigo registro de barragem da história: Al-Kafara

- ❖ Rio Nilo- (irrigação)
época dos construtores de pirâmides (4000 anos).
- ❖ Barragem de pedra:
- ❖ Construção: 10 a 15 anos
- ❖ sobre rocha (36 m de largura)
- ❖ Reservatório (600.000 m³)
- ❖ *Rompida por um evento chuvoso, logo após a sua construção*



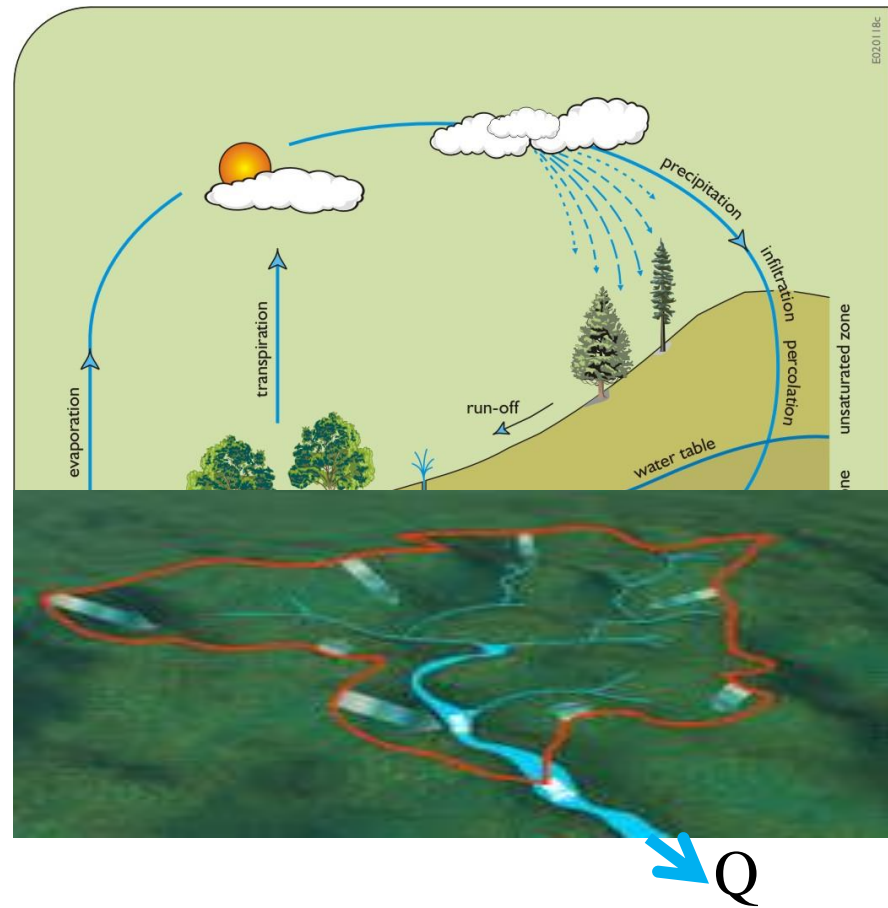
descoberta:1947

1. Por que regularizar?

Vazão (Q): resultado dos processos hidrológicos da bacia

- Evaporação e transpiração
- Precipitação
- Infiltração
- Percolação
- Água superficial disponível para escoamento
- Contribuição da água subterrânea para os corpos d'água superficiais

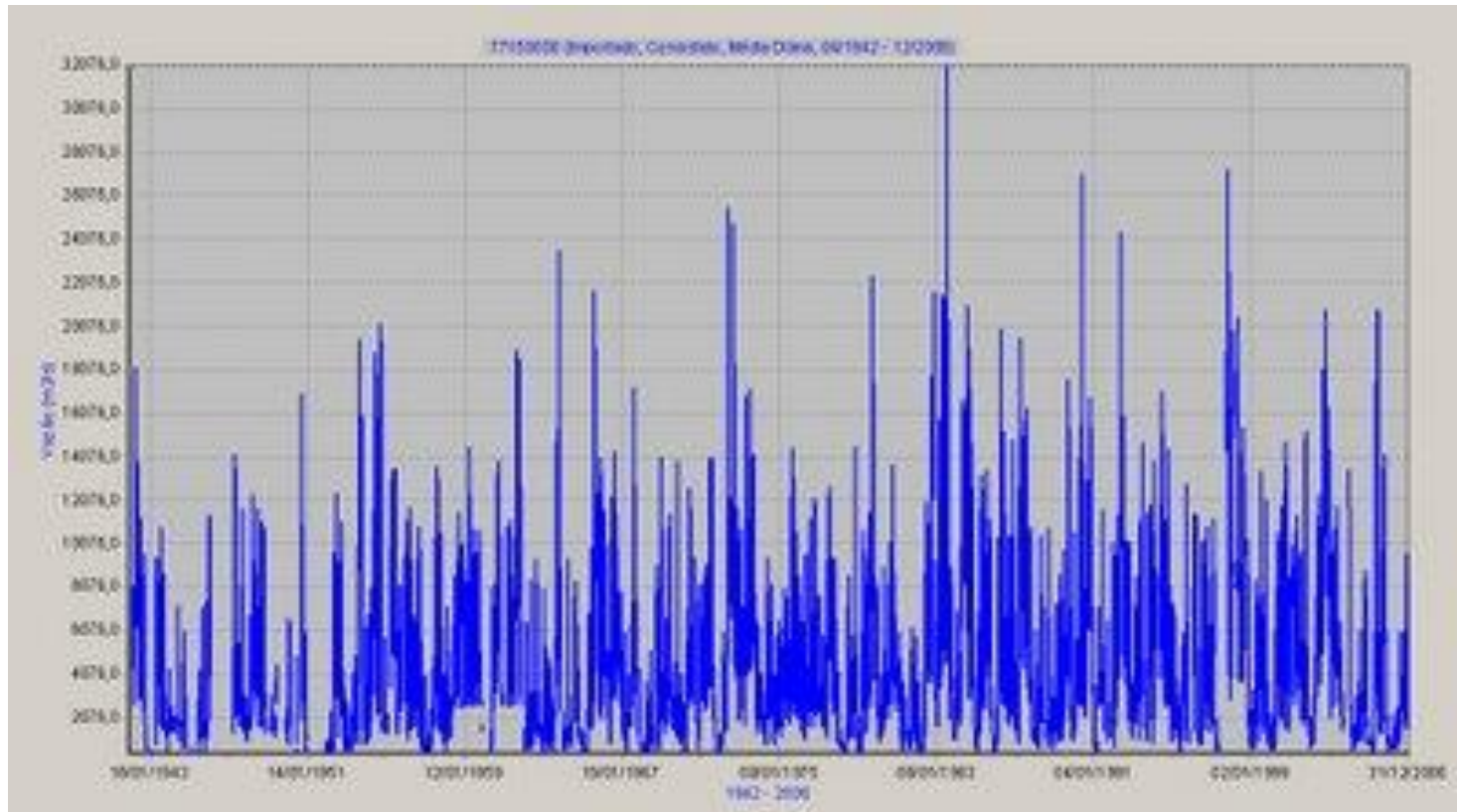
componente aleatória



1. Por que regularizar?

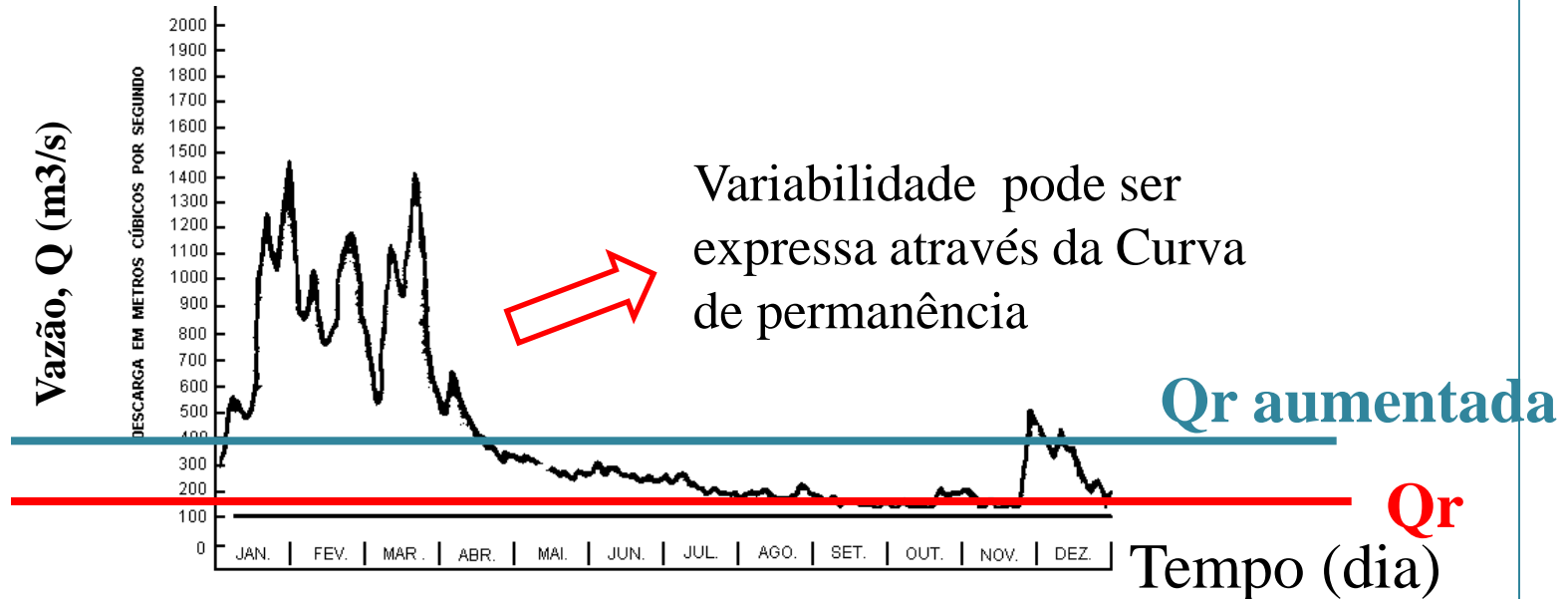
**Vazão (Q): resultado dos processos hidrológicos da
bacia**

Característica : variabilidade



1. Por que regularizar?

- Tipicamente, vazões dos cursos d'água:

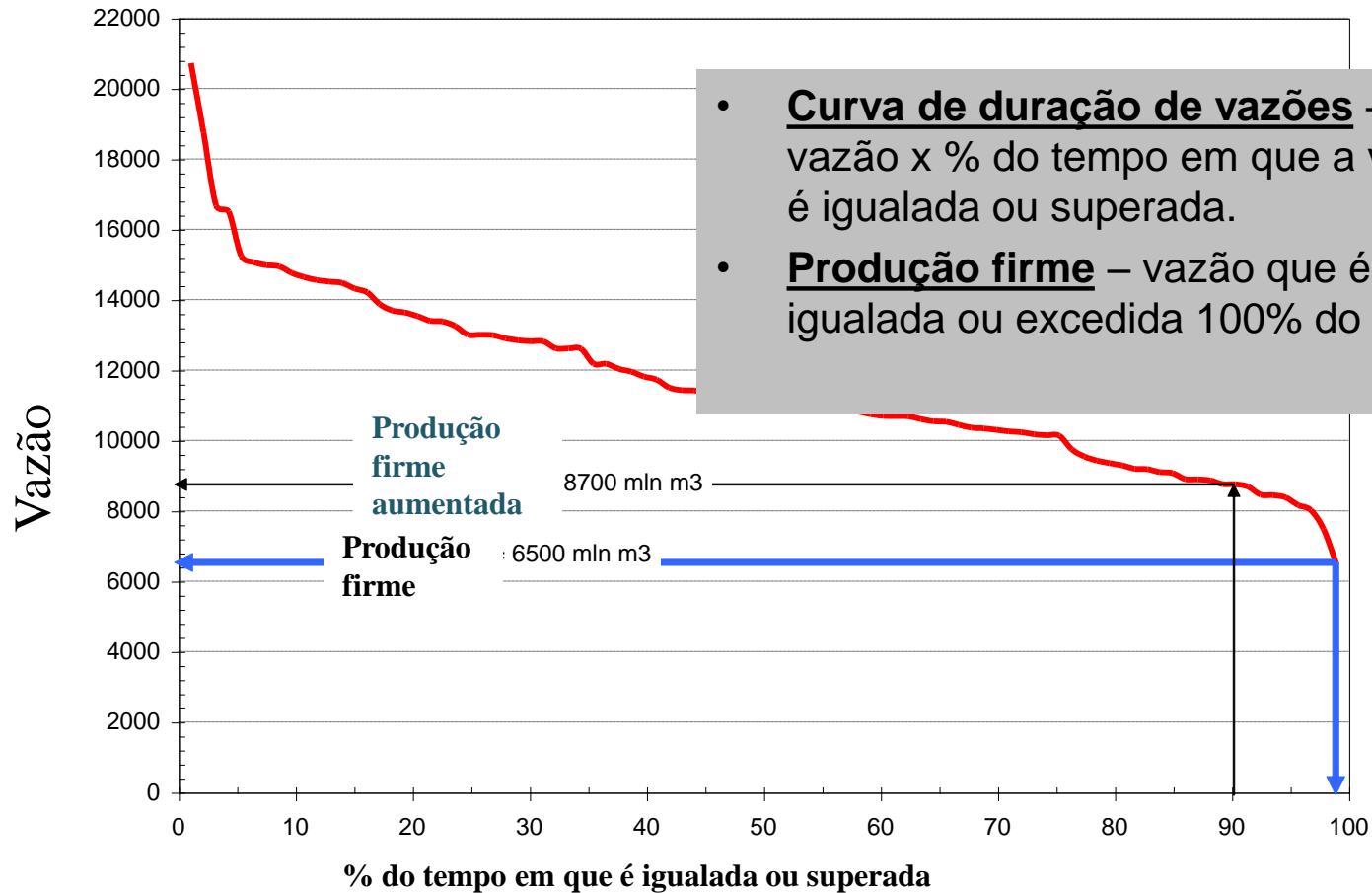


- Quando a **vazão mínima do rio é superior à vazão máxima a ser utilizada (Q_r)**:
Aproveitamento a **fio d'água** (não depende das águas armazenadas para o atendimento da demanda)
- Quando a **demanda máxima (Q_r) é superior à disponibilidade**: há necessidade de regularização, reservar das águas das épocas úmidas para consumo nas épocas de estiagem (**RESERVATÓRIOS**).

1. Por que regularizar?

Curva de Duração ou permanência de Vazões

Exemplo: Toktogul on the Naryn River in Kyrgyzstan

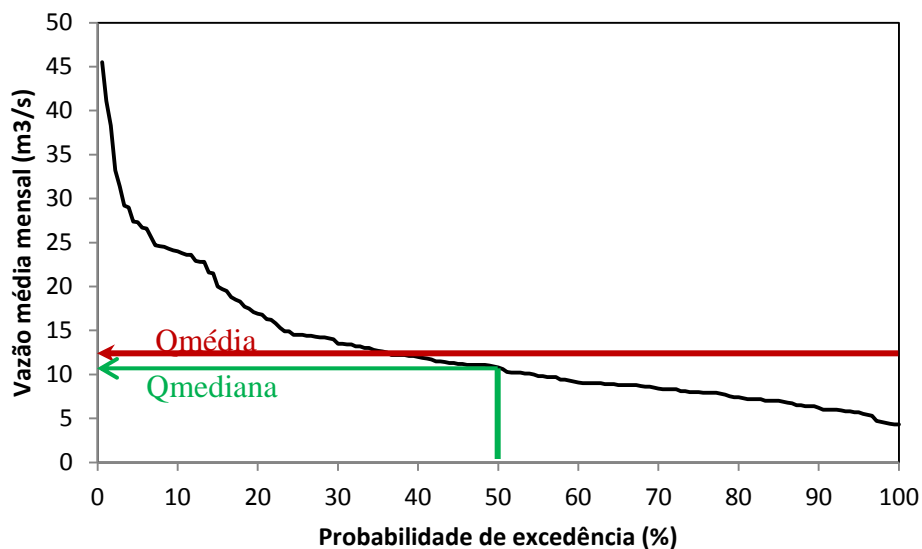


Para preparar uma curva de permanência de vazões médias diárias, mensais ou anuais

- Para preparar uma curva de permanência de vazões médias diárias, mensais ou anuais
- i) A faixa total das vazões utilizadas na análise é dividida em classes, dispostas em ordem decrescente. O tamanho do intervalo de classe, ΔQ , é calculado segundo Intervalo de classe = $\Delta Q = Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}} / \text{número de pontos de plotagem}$ (geralmente, dez ou mais pontos de plotagem (ou classes) são suficientes para o traçado adequado da curva de permanência, embora esse total dependa muito do tamanho da série de registros)
- ii) contando-se o **número de observações dentro de cada de classe**
- iii) O número de **observações em cada classe é acumulado**, a partir do intervalo que contém a vazão máxima (a classificação é decrescente).
- iv) A contagem das observações acumuladas é, então, transformada em porcentagem. Para isso, dividem-se os valores **acumulados pelo número total de registros de vazão e multiplica-se o resultado por 100**
- v) Lançam-se em um gráfico os valores das vazões (**limite inferior de cada classe**), **em ordenada**, versus as **contagens percentuais acumuladas** correspondentes, **em abscissa**, e traça-se uma linha suave através dos pontos plotados.

Curva de permanência ou duração

- Definição: gráfico que informa com que frequência a vazão de dada magnitude é igualada ou excedida durante o período de registro das vazões.
- Exemplo:



- Construção: ordenar os dados disponíveis em ordem decrescente e proceder o cálculo das frequências de excedência acumulando-se as frequências por intervalos de classe (registro reduzido) ou não (registro extenso)

Exemplo: Villela e Mattos, 1978

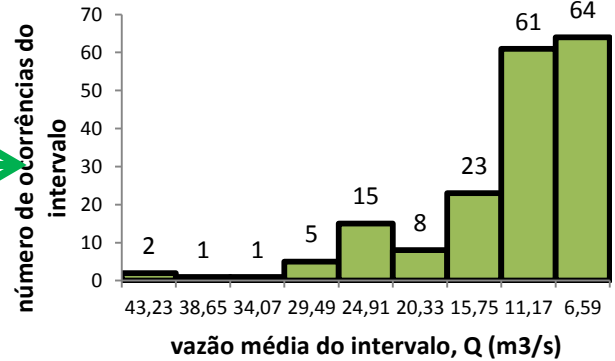
Construir a curva de permanência das vazões médias mensais (m³/s) constantes da tabela:

ano\mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1928	14,2	23,8	27,3	18,8	8	6,4	7,5	9	7,9	8,3	8,1	14,9
1929	41,1	45,5	29,2	11,7	22,8	11,5	11,1	10,6	13,4	10	14,3	33,2
1930	27,4	24,3	13,5	14,4	12,1	8,8	8,8	11	8,4	8,8	14,1	24,6
1931	24,1	29	21,6	11,3	9,4	8,6	5,8	8,9	13,5	14	8,8	22,8
1932	24	14,5	23,6	9,4	10,1	9,7	6,7	9,3	7,4	11,3	8,7	14,4
1933	13,2	9,7	9	6,2	5,5	6,8	6	4,4	7,2	9,1	6	9
1934	20	26,7	19,5	13,4	8	8,3	7,3	7	8,1	7,2	7	24,5
1935	12,8	26,6	16,3	11,8	7,2	10,2	8,9	8,3	15,8	18,3	11,4	12,2
1936	14,9	10,2	17,7	9	6,5	6,4	6	8,6	12,2	9	9,8	17,5
1937	22,9	23,6	11,5	21,5	18,5	11,1	7	9,8	7,7	12,6	19,7	11,1
1938	12,2	12,2	12,5	25,6	10,1	8,3	7,9	11,1	12,1	11,2	13,2	16,8
1939	16,9	11,1	8,9	8,5	7,4	5,7	5,3	4,3	5,4	4,6	12,7	14,5
1940	24,7	31,4	14,5	8	7,2	4,7	8,8	4,5	6,5	9,7	7,9	10,9
1941	10,2	9,2	11,9	7,8	5,7	4,3	5,9	6,4	10,8	10,3	14,2	13
1942	13	38,3	16,2	17,1	6,9	11,2	12	6	7	5,8	7,9	15,3

Exemplo: Villela e Mattos, 1978

$k = 1 + 3,3 \log_{10}(n)$, k=	8,44
n=	180
máximo=	45,5
mínimo=	4,3
amplitude=	41,2
k=	9
h=	4,58

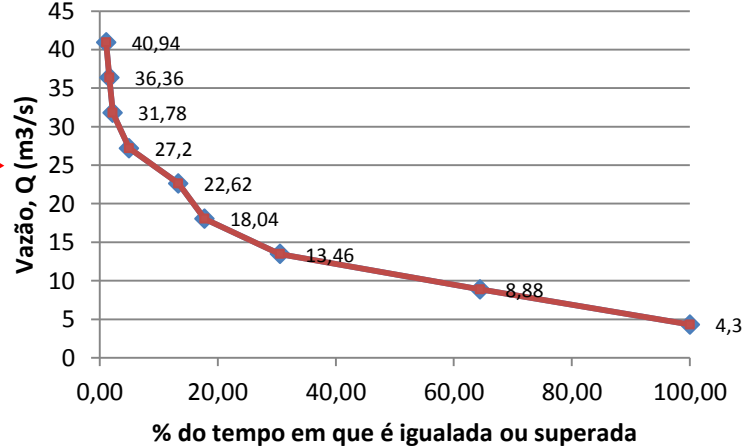
Histograma de frequências



Intervalo dos dados
 Limite inferior do intervalo
 =CONT.SE(\$B\$2:\$M\$16;">="&I26)

Intervalo i	limite sup	limite inf	Fi	Pi excedência(%)	limite inf
1	45,52	40,94	2	1,11	40,94
2	40,94	36,36	3	1,67	36,36
3	36,36	31,78	4	2,22	31,78
4	31,78	27,2	9	5,00	27,2
5	27,2	22,62	24	13,33	22,62
6	22,62	18,04	32	17,78	18,04
7	18,04	13,46	55	30,56	13,46
8	13,46	8,88	116	64,44	8,88
9	8,88	4,3	180	100,00	4,3

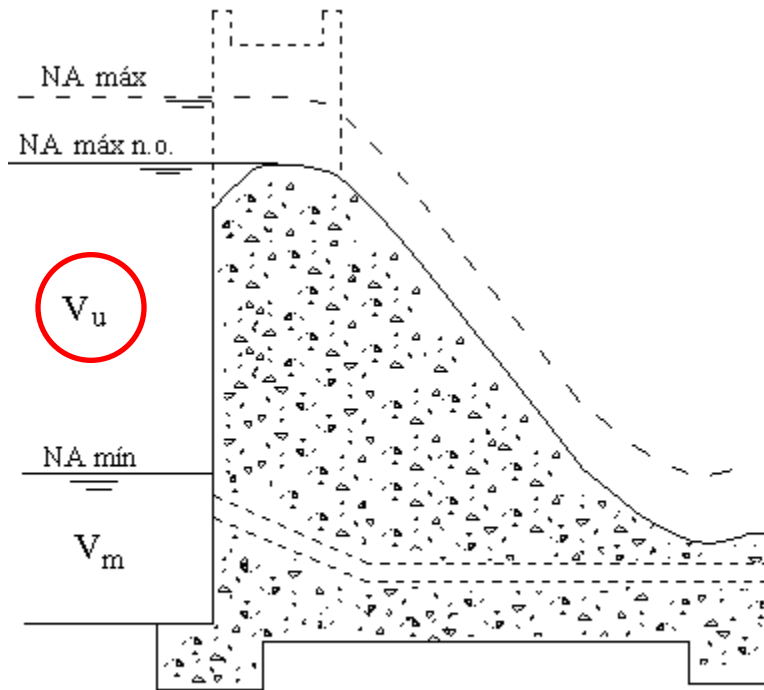
Curva de permanência



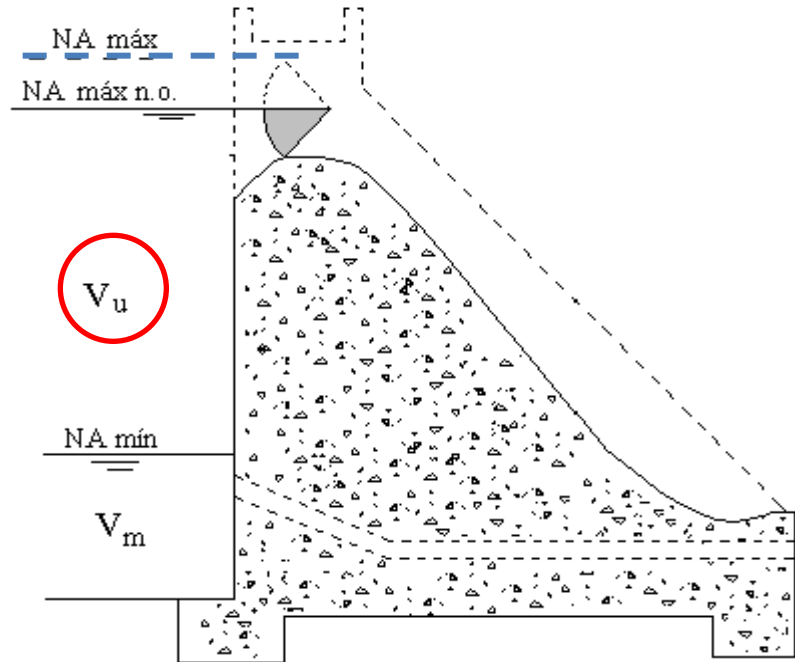
2. Reservatórios: níveis operacionais e volumes característicos de um reservatório

- **Nível d'água máximo normal (NA máx no.):** nível até o qual **as águas se elevam, nas condições normais de projeto**. Corresponde à cota da **crista vertente, no caso de extravasor não controlado** ou de **crista livre, ou à cota da borda superior das comportas, no caso de extravasor controlado**.
- **Nível d'água mínimo normal (NA mín):** nível mínimo **até o qual as águas baixam, em condições normais de operação**. Corresponde à cota da tomada d'água mais baixa da barragem, ou à cota mínima capaz de permitir as melhores **condições operacionais de equipamentos, como as turbinas**.
- **Volume morto (Vm):** volume **armazenado abaixo do NA mín**, destinado a **acomodar a carga de sedimentos afluentes ao reservatório, durante a sua vida útil**.
- **Volume útil (Vu):** volume armazenado **entre o NA máx no. e o NA mín**
- **Volume de espera:** volume situado acima do NA máx n.o., reservado para o amortecimento da cheia de projeto pelo reservatório. Corresponde ao NA máximo *maximorum* (NA máx). *O sobreamazenamento não é aproveitado, pois persiste somente durante a cheia.*
- **Borda livre:** diferença de cotas entre o coroamento da barragem e o NA máximo *maximorum*, *suficientemente grande para conter a arrebentação de ondas devidas ao vento.*

2. Reservatórios: níveis operacionais e volumes característicos de um reservatório



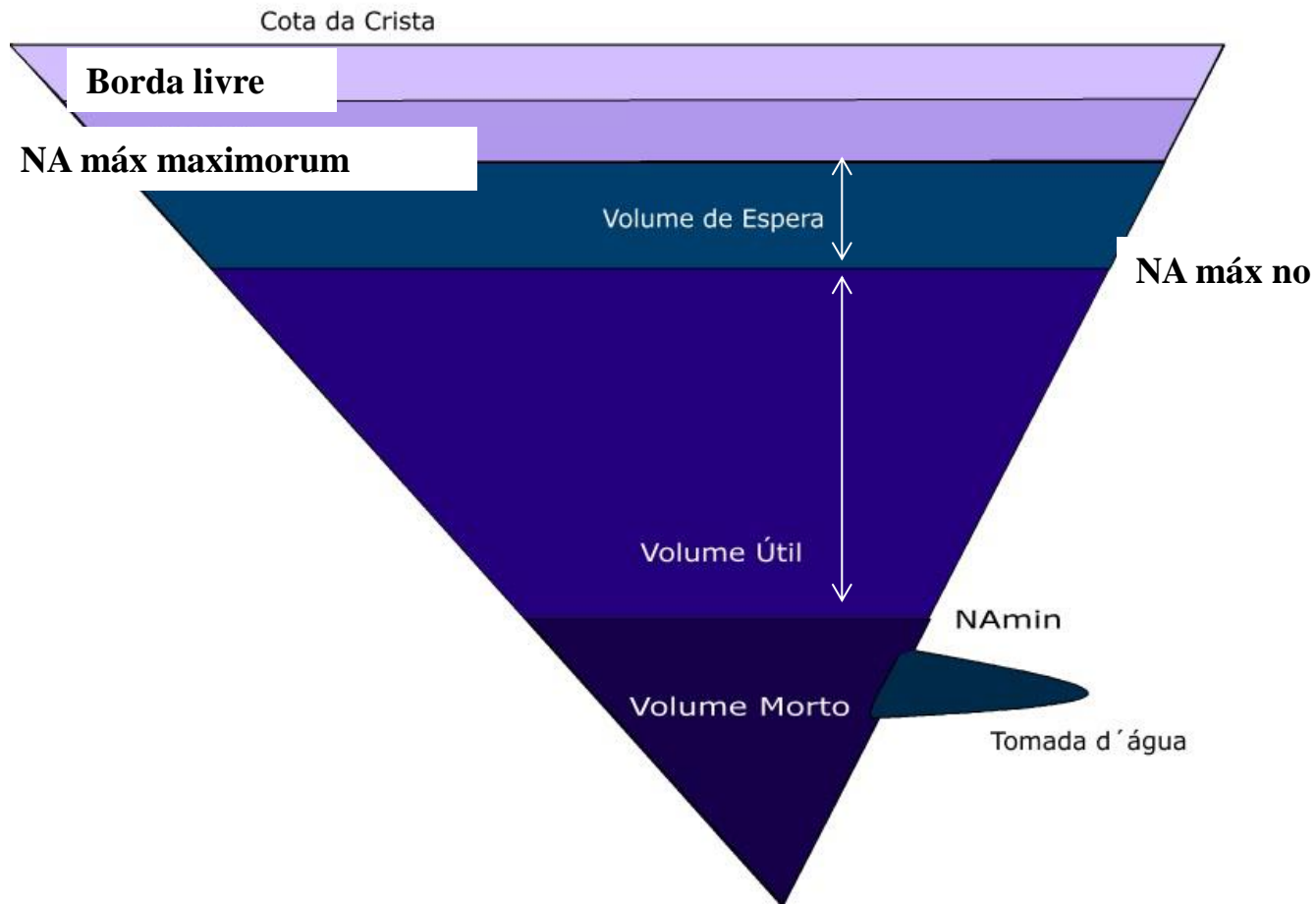
Barragem sem controle do extravasor



Barragem com controle do extravasor

Fonte: Barbosa Jr., A. R. (2013)

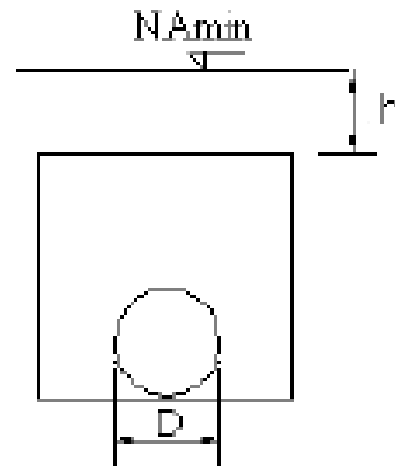
- *Características físicas dos reservatórios*



1. NA MÍNIMO OPERACIONAL

Cota mínima necessária para a operação do reservatório. Define o limite superior do volume morto e o limite inferior do volume útil do reservatório.

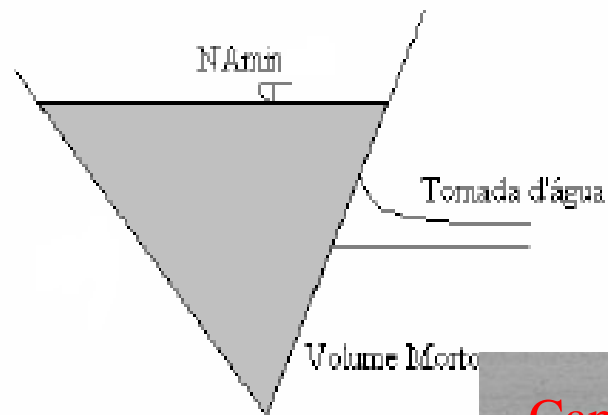
Por exemplo:



h = lâmina mínima necessária entre o limite superior da estrutura de tomada e o *NA mínimo operacional* para se evitar a formação de vórtices na entrada da tomada d'água.

2. VOLUME MORTO

Parcela do volume total do reservatório inativa para fins de captação de água. Corresponde ao volume do reservatório compreendido abaixo do NA mínimo operacional.

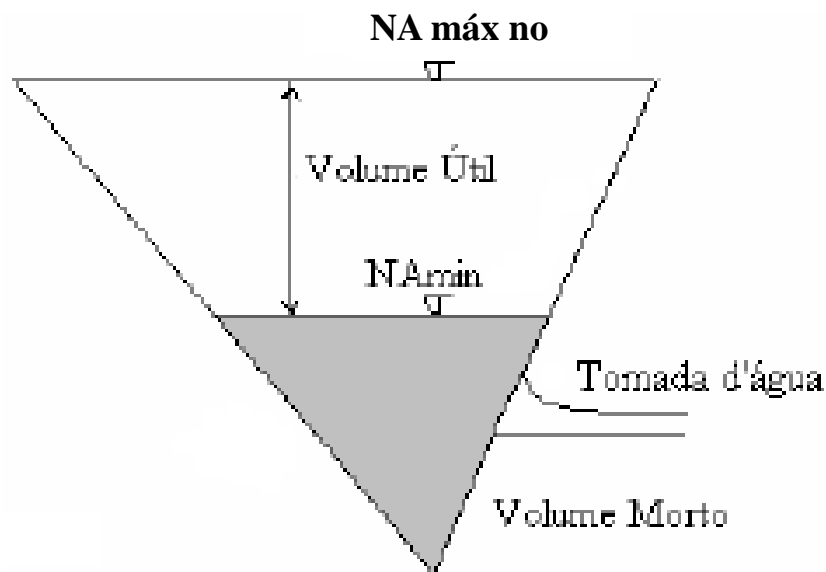


Captação do volume morto do Cantareira



3. NA MÁXIMO OPERACIONAL

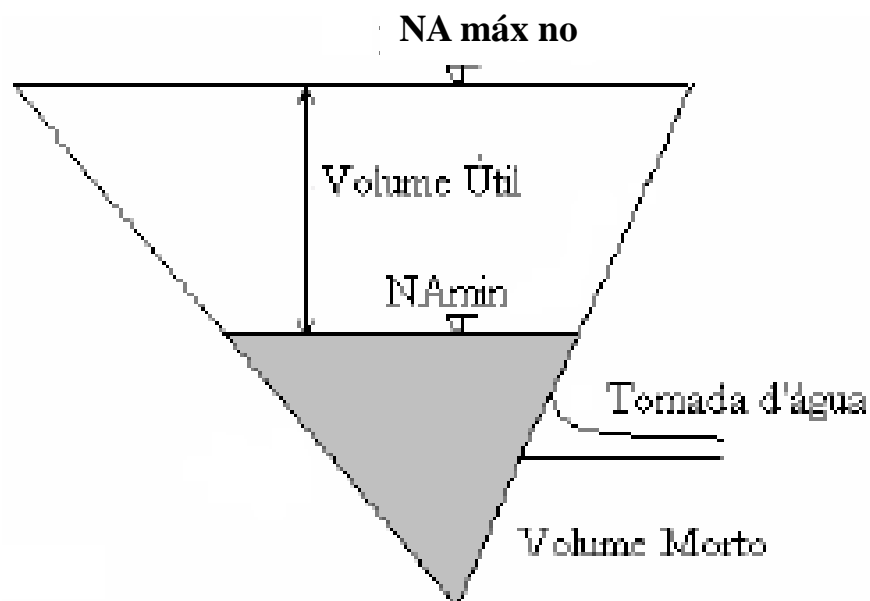
Cota máxima permitida para a operação do reservatório. Define o limite superior do volume útil do reservatório.



4. VOLUME ÚTIL

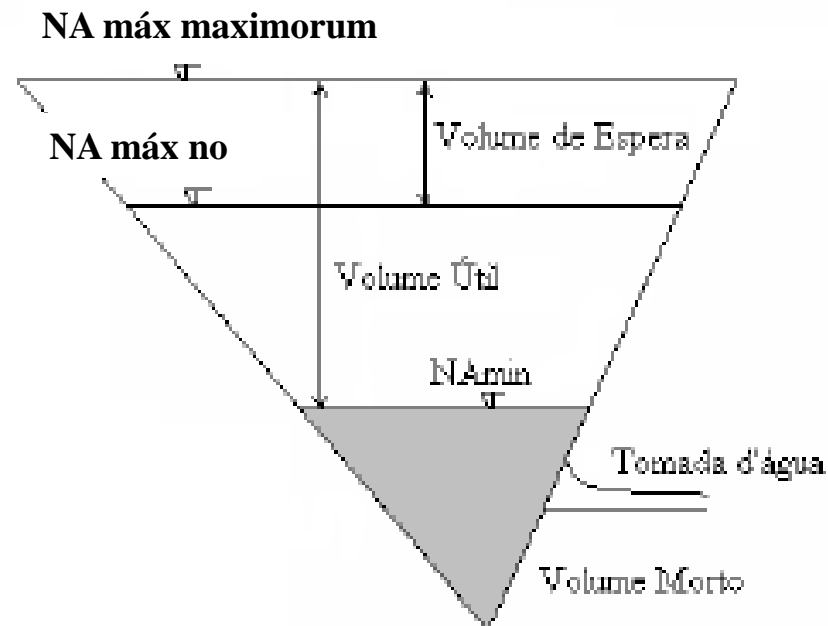
Volume compreendido entre os níveis mínimo operacional e máximo operacional, efetivamente destinado à operação do reservatório, ou seja, ao atendimento das demandas de água.

Deve considerar as perdas por evaporação e por infiltração no solo, quando estas forem significativas.



5. VOLUME DE ESPERA

Volume destinado ao amortecimento de ondas de cheia, visando ao atendimento às restrições de vazão de jusante (capacidade da calha, comprometimento da infra-estrutura). É variável ao longo do período hidrológico.



6. NA MÁXIMO MAXIMORUM

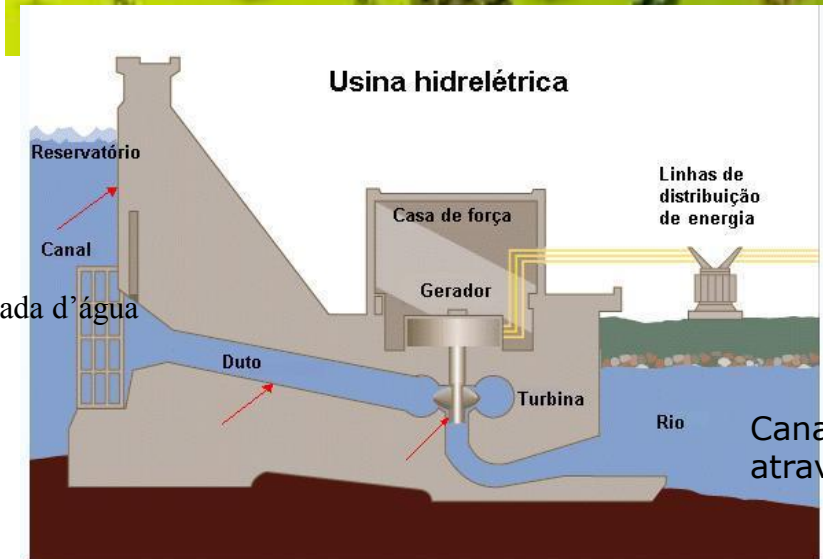
Corresponde à sobrelevação máxima disponível para a passagem de ondas de cheia.

7. CRISTA DO BARRAMENTO

Sobrelevação adicional ao NA máximo maximorum.

- proteção contra ondas formadas pelo vento.
- *free-board*: segurança adicional ao transbordamento em condições excepcionais.

Hidrelétrica: componentes típicos



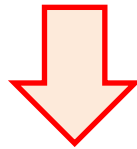
O potencial hidráulico é proporcionado pela vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis existentes ao longo do curso de um rio. Isto pode se dar de uma forma natural, quando o desnível está concentrado numa cachoeira; através de uma barragem, quando pequenos desníveis são concentrados na altura da barragem ou através de desvio do rio de seu leito natural, concentrando-se os pequenos desníveis nesses desvios.

Canal de fuga (a água é restituída ao leito natural do rio, através do *canal* de fuga)

3. Definições

- **Período crítico** – período de vazões baixas do registro

“tendo observado um evento no passado, é possível vivenciá-lo novamente no futuro”. Assim, um período crítico pode se repetir



- **Armazenamento:** prover água adicional à do registro de vazões
- Dada uma produção alvo (derivação) e conhecidas as vazões afluentes, um reservatório pode ser dimensionado para garantir essa produção alvo.

3. Definições

- **Produção** de um sistema: quantidade de água que pode ser abastecida durante certo intervalo de tempo
- **Produção firme (garantida)**- quantidade de água que pode ser abastecida durante um **período crítico**
 - Sem armazenamento: produção firme é a mais baixa vazão do registro
 - Com armazenamento: produção firme pode ser aumentada
 - Lei de regularização - % da vazão afluente média definida pela relação:
 Q_r/Q_m

sendo: Q_r a vazão regularizada e Q_m a vazão média no período considerado

Definições(cont.):

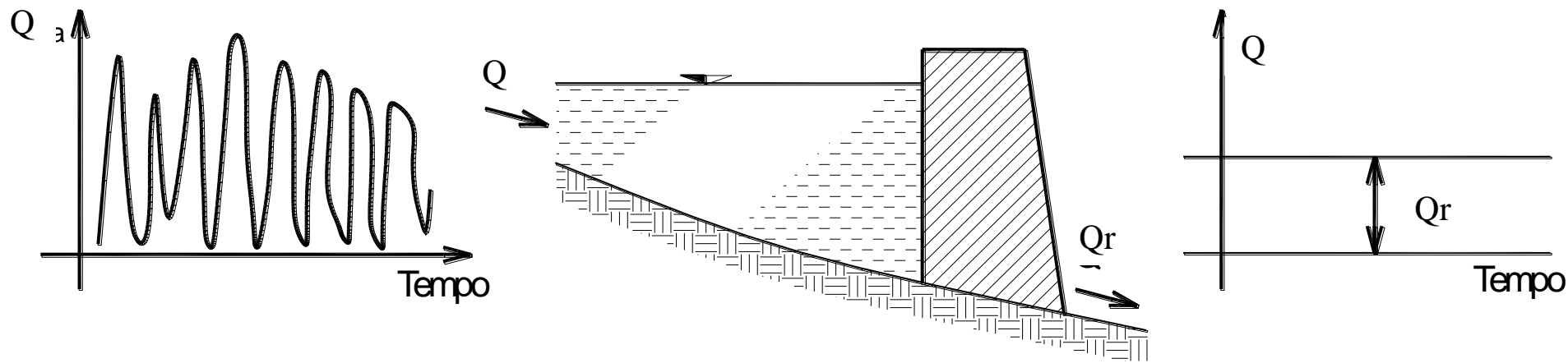
- **Período crítico** – periodo de vazões baixas do registro
 - Idéia: “tendo observado um evento no passado, é possível vivenciá-lo novamente no futuro”
- **Armazenamento:** provê vazão adicional à do registro de vazões
- Dada uma produção alvo(demanda), a capacidade requerida depende do risco de determinada produção não ser atingida, ou seja, da **confiabilidade** do sistema

Conceito de Regularização

- No aproveitamento da vazão dos cursos d'água naturais, duas situações podem ocorrer:
 - **vazão mínima do rio superior à vazão máxima a ser utilizada:**
Aproveitamento a fio d'água
(não depende das águas armazenadas para o atendimento da demanda)
 - **Demanda superior à disponibilidade:**
necessidade de reservar as águas das épocas úmidas para consumo nas épocas de estiagem: **construção de reservatórios.**

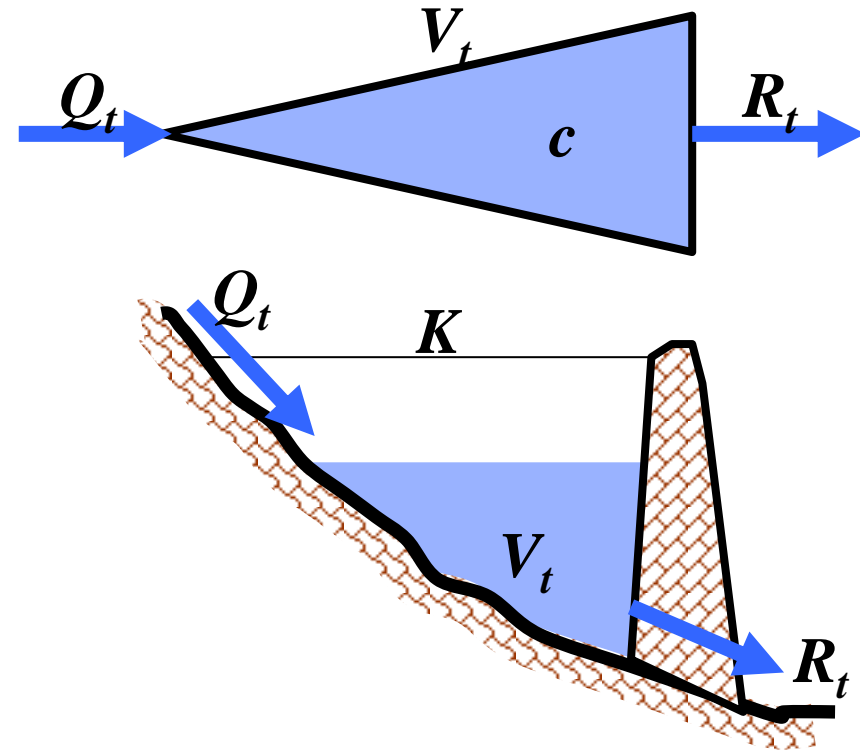
abastecimento regularizado pela construção de um reservatório

- **Entradas:** Barragem, afluências hídricas com variabilidade temporal conhecida.
- **Saída:** exemplo abaixo: vazão regularizada constante = demanda constante = Q_r



Problema de Regularização

- Determinar o volume útil (C) que um reservatório deve ter para garantir o atendimento da vazão regularizada (R_t), conhecido o histórico de sucessão de vazões (Q_t) afluentes



Dimensionamento dos reservatórios

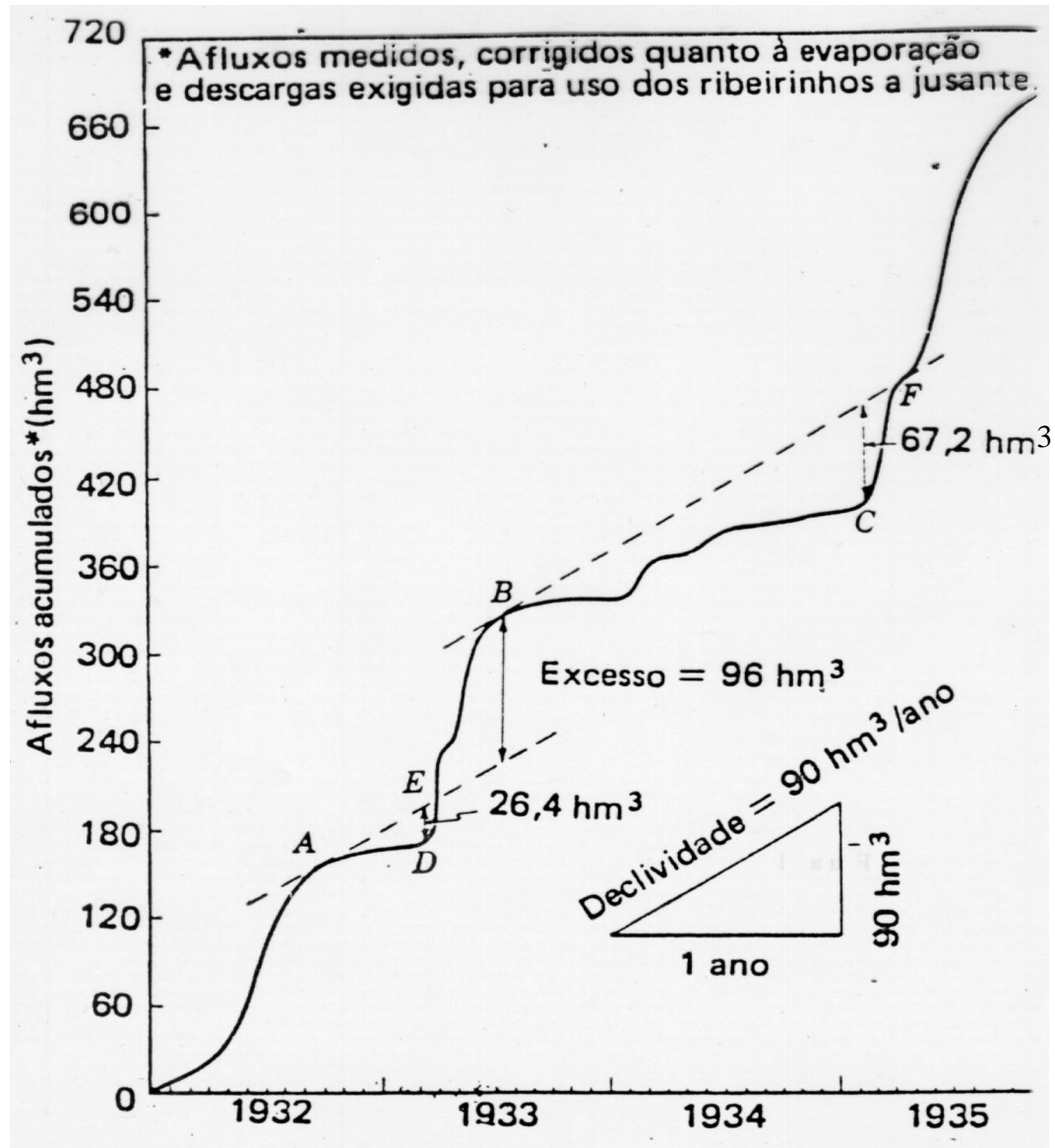
Metodos Simplificados

- **Método do Diagrama de Massas (Rippl)**
 - Estimativa gráfica do volume necessário para garantir dada produção (demanda)
 - Construído somando-se as afluências ao longo do período de registro (em unidades volumétricas), plotadas-se contra o tempo

Intervalo de tempo deve incluir o “período crítico”

- Intervalo de tempo ao longo do qual as vazões afluentes são mínimas

EXEMPLO (LINSLEY & FRANZINI, 1976):



Exemplo: registro, período crítico, diagrama de massas

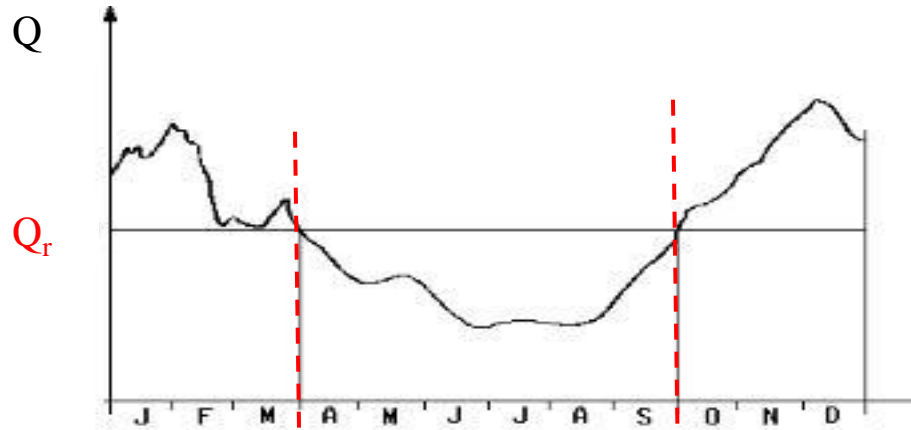


Diagrama de Massas ou de Rippl

- As tangentes em cada ponto do diagrama de massas, em volume, dão as vazões médias no intervalo de tempo considerado.

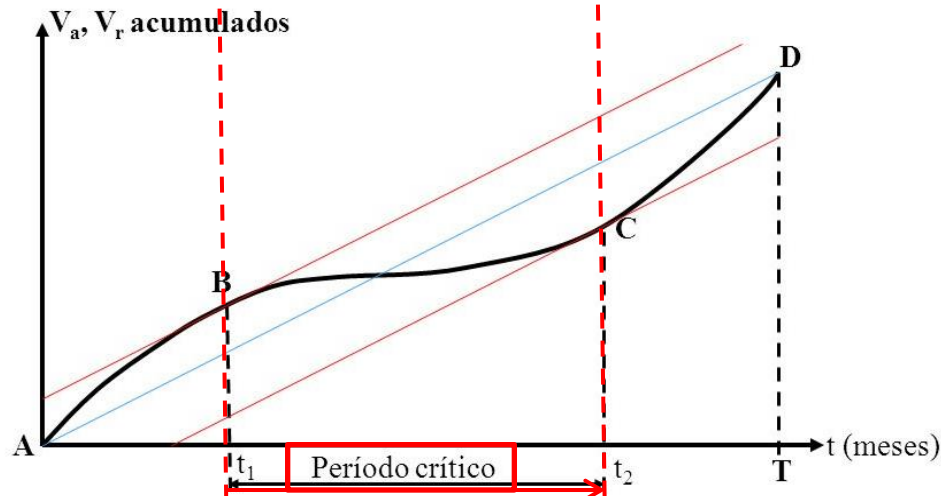


Diagrama de massas - DM (Rippl, 1883)

- gráfico dos **volumes acumulados** de vazões naturais **ao longo do tempo** onde:
 - A declividade da tangente à curva em um instante qualquer indica o valor da vazão nesse instante;
 - Uma demanda constante pode ser representada por uma reta de declividade correspondente ao valor da demanda.
 - A vazão média do período (Δt) pode ser representada pela declividade: $V_{ac.total}/\Delta t$, que corresponde à máxima vazão regularizável do período.
 - Como uma medida de segurança, adota-se uma vazão regularizada de no máximo 95% da vazão média (usualmente 70%). Essas porcentagens são conhecidas como lei de regularização.
 - Fazendo uma reta tangente passar pelos pontos de máximo e admitindo que o reservatório esteja cheio no instante correspondente aos pontos onde a reta corta a curva, o afastamento máximo entre tal reta e a curva representa a capacidade útil que o reservatório deve ter para satisfazer àquela demanda constante.
 - A partir do ponto de máximo, tangentes de declividades inferiores à vazão de regularização até o ponto de máximo afastamento caracterizam o esvaziamento do reservatório, até o ponto de máximo afastamento. A partir desse ponto, tangentes de declividades superiores à vazão de regularização, representam o enchimento do reservatório, até o seu total preenchimento, no ponto onde a reta corta a curva.

Método dos Picos Sequenciais

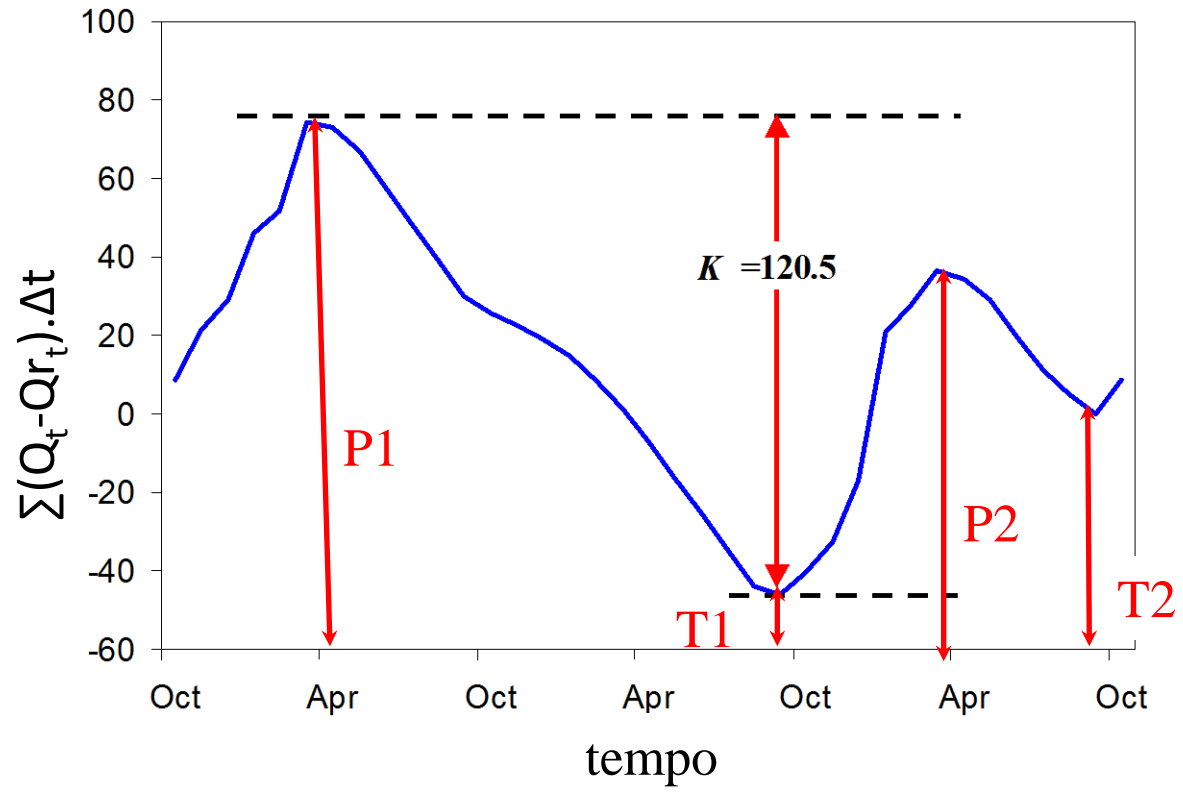
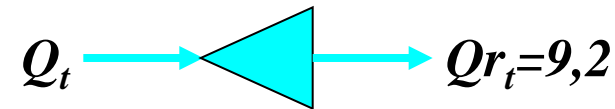
método simples, alternativo ao DM

Método dos Picos Sequencias: algoritmo

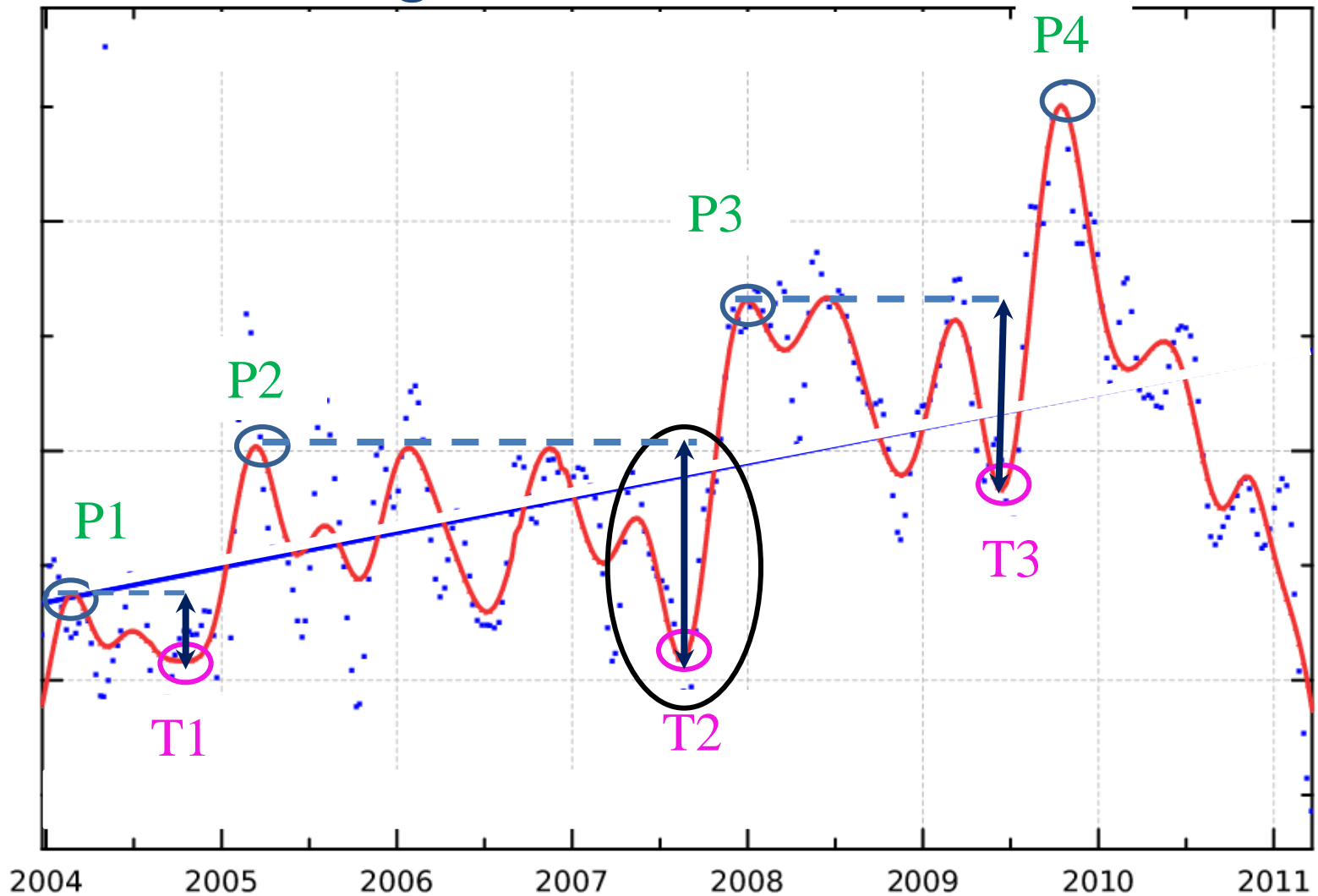
- 1. Plotar a soma cumulativa de afluências, Q_t , menos liberações, Qr_t (em unidades volumétricas), para $t=1$ até $2T$ (duas séries idênticas na sequência)
- 2. Tomar o primeiro pico (máximo), $P1$, e o **próximo, $P2$, maior que o primeiro**. Tomar o mínimo entre eles e chamar de $T1$
- 3. O armazenamento necessário é a diferença ($P1-T1$) entre o primeiro pico e o ponto mais baixo consecutivo ($T1$)
- 4. Repetir a mesma análise a partir de $P2$, identificando ($P2-T2$) e assim por diante.
- O maior valor de armazenamento é o valor de projeto: $K = \text{Máx}(P_i - T_i)$

Método dos Picos Sequenciais- exemplo

mês	Q(t)	Q(t)-Qr	(Q(t)-Qr) acum
Oct	18	8,8	8,8
Nov	22	12,8	21,6
Dec	17	7,8	29,4
Jan	26	16,8	46,2
Feb	15	5,8	52
Mar	32	22,8	74,8
Apr	8	-1,2	73,6
May	3	-6,2	67,4
Jun	0	-9,2	58,2
Jul	0	-9,2	49
Aug	0	-9,2	39,8
Sep	0	-9,2	30,6
Oct	5	-4,2	26,4
Nov	6	-3,2	23,2
Dec	6	-3,2	20
Jan	5	-4,2	15,8
Feb	3	-6,2	9,6
Mar	2	-7,2	2,4
Apr	1	-8,2	-5,8
May	0	-9,2	-15
Jun	0	-9,2	-24,2
Jul	0	-9,2	-33,4
Aug	0	-9,2	-42,6
Sep	7	-2,2	-44,8
Oct	15	5,8	-39
Nov	17	7,8	-31,2
Dec	25	15,8	-15,4
Jan	47	37,8	22,4
Feb	16	6,8	29,2
Mar	18	8,8	38
Apr	7	-2,2	35,8
May	4	-5,2	30,6
Jun	0	-9,2	21,4
Jul	1	-8,2	13,2
Aug	3	-6,2	7
Sep	4	-5,2	1,8



Método dos Picos Sequenciais-outro exemplo, com sequência mais longa



Determinação da Capacidade do Reservatório

base: método de período crítico

Conhecendo-se:

- $Q_{i,j}$ = a vazão no rio onde i é o índice do ano e j do mês
 - $Q_{r,i,j}$ = vazão regularizada, que, no caso deve ser **constante ao longo do tempo ou não**, dispensa os índices i e j
- O problema é:
- **determinar a capacidade do reservatório para garantir $Q_{r,i,j}$**

Determinação da Capacidade do Método do Período Crítico

Define-se:

$$D_{i,j} = \text{máx}\{0, D_{i,j-1} + Qr_{i,j} - Q_{i,j}\}$$

- $D_{i,j}$ = déficit de armazenamento do ano i , no mês j ,
- assim $D_{i \text{ máx}}$ = máximo déficit determinado para o ano i
- A capacidade de armazenamento para atender a vazão regularizada durante o período (ano) i seria, portanto,
- $C \text{ (m}^3\text{/s)} = D_{i \text{ máx}} \text{ (m}^3\text{/s)} \times \text{número de segundos do intervalo de tempo adotado}$

EXEMPLO:

determinar $D_{i \text{ máx}}$ e C para um determinado ano i ,
sendo dados: $QR=80 \text{ m}^3/\text{s}$ e:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$Q_{i,j}(\text{m}^3/\text{s})$	250	220	150	80	90	50	40	60	80	110	160	210

Resolução:

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$D_{i,j}(\text{m}^3/\text{s})$	0	0	0	0	0	30	70	90	90	60	0	0

Portanto,

$$C_i = 90 \times 30 \times 86400 = 233,280.10^6 \text{ (m}^3\text{)}$$

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO:

- Para efeito de projeto, o **máximo afastamento** deve ser entendido como o **volume útil do reservatório relativo ao período de retorno idêntico ao comprimento da série histórica (em anos)**. Assim, a capacidade C do reservatório deve prever um volume adicional relativo ao nível de retirada da água (volume morto), abaixo do qual não se pode retirar água, e à borda livre, necessária para amortecimento de ondas de cheia: $C = V_{\text{útil}} + V_{\text{morto}} + V_{\text{espera}} + V_{\text{borda livre}}$

Exemplo: Rio Pardo (Rib. Preto), Clube Regatas- período 1952-1956

Observando as vazões naturais do Rio Pardo no posto do Clube de Regatas de Ribeirão Preto, prefixo 4C-01, no período de 1941 a 1970, verifica-se um período de vazões médias mensais mais baixas entre 1952 e 1956. Considerando este período como crítico, determine o volume de um reservatório necessário para regularizar uma vazão de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, pelo método das diferenças acumuladas utilizando a planilha Excel, com gráfico na opção dispersão com pontos conectados por linhas. As vazões médias mensais são:

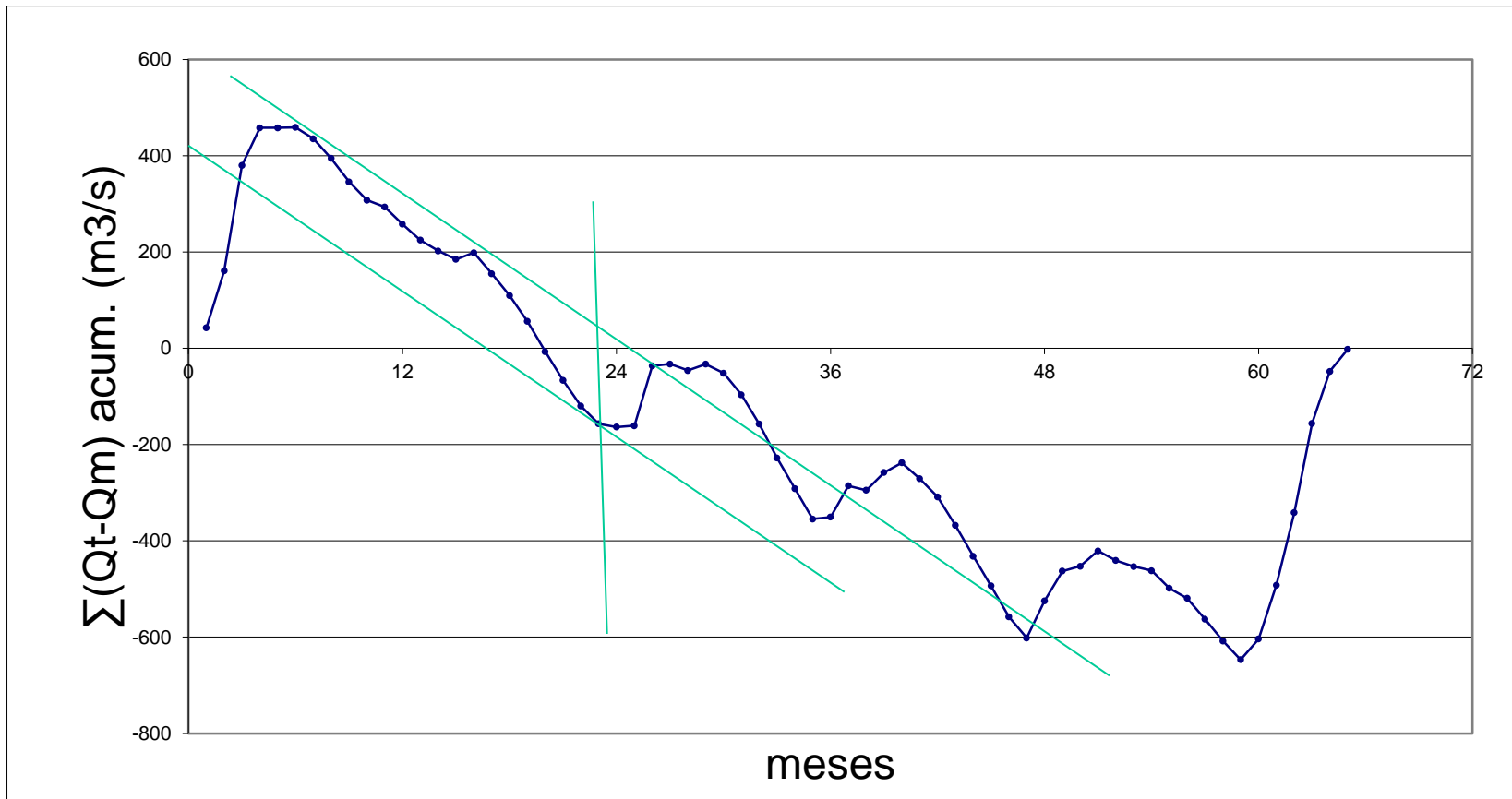
ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1952	148	223	324	183	105	106	81.4	64.3	56.2	66.9	91	69.2
1953	71.9	82.6	87.3	119	61.5	59.5	51.7	41.8	45.5	51.3	68.2	98.1
1954	108	229	109	91.7	118	86.5	60.2	44.2	34	41.6	41.8	109
1955	170	95.8	142	125	72	67.4	46.1	40.4	43.3	40.7	61.2	182
1956	167	115	137	85.1	92.4	96.4	68.4	84.1	61.6	59.8	66	148
1957	217	256	290	213	151							

Método das Tangentes- Planilha auxiliar

			80		Deficit
t	Qt (m3/s)	(Qt - Qm) (m3/s)	(Qt - Qm)acum. (m3/s)		(m3/s)
					0
J	148	43	43		0
F	223	118	161		0
M	324	219	380		0
A	183	78	458		0
M	105	0	458		0
J	106	1	459		0
J	81,4	-23,6	435,4		0
A	64,3	-40,7	394,7		15,7
S	56,2	-48,8	345,9		39,5
O	66,9	-38,1	307,8		52,6
N	91	-14	293,8		41,6
D	69,2	-35,8	258		52,4
J	71,9	-33,1	224,9		60,5
F	82,6	-22,4	202,5		57,9
M	87,3	-17,7	184,8		50,6
A	119	14	198,8		11,6
M	61,5	-43,5	155,3		30,1
J	59,5	-45,5	109,8		50,6
J	51,7	-53,3	56,5		78,9
A	41,8	-63,2	-6,7		117,1
S	45,5	-59,5	-66,2		151,6
O	51,3	-53,7	-119,9		180,3
N	68,2	-36,8	-156,7		192,1
D	98,1	-6,9	-163,6		174
J	108	3	-160,6		146
F	229	124	-36,6		0
M	109	4	-32,6		0
A	91,7	-13,3	-45,9		0
M	118	13	-32,9		0
J	86,5	-18,5	-51,4		0
J	60,2	-44,8	-96,2		19,8
A	44,2	-60,8	-157		55,6

S	34	-71	-228		101,6
O	41,6	-63,4	-291,4		140
N	41,8	-63,2	-354,6		178,2
D	109	4	-350,6		149,2
J	170	65	-285,6		59,2
F	95,8	-9,2	-294,8		43,4
M	142	37	-257,8		0
A	125	20	-237,8		0
M	72	-33	-270,8		8
J	67,4	-37,6	-308,4		20,6
J	46,1	-58,9	-367,3		54,5
A	40,4	-64,6	-431,9		94,1
S	43,3	-61,7	-493,6		130,8
O	40,7	-64,3	-557,9		170,1
N	61,2	-43,8	-601,7		188,9
D	182	77	-524,7		86,9
J	167	62	-462,7		0
F	115	10	-452,7		0
M	137	32	-420,7		0
A	85,1	-19,9	-440,6		0
M	92,4	-12,6	-453,2		0
J	96,4	-8,6	-461,8		0
J	68,4	-36,6	-498,4		11,6
A	84,1	-20,9	-519,3		7,5
S	61,6	-43,4	-562,7		25,9
O	59,8	-45,2	-607,9		46,1
N	66	-39	-646,9		60,1
D	148	43	-603,9		0
J	217	112	-491,9		0
F	256	151	-340,9		0
M	290	185	-155,9		0
A	213	108	-47,9		0
M	151	46	-1,9		0
Média	104,97				

Método das tangentes

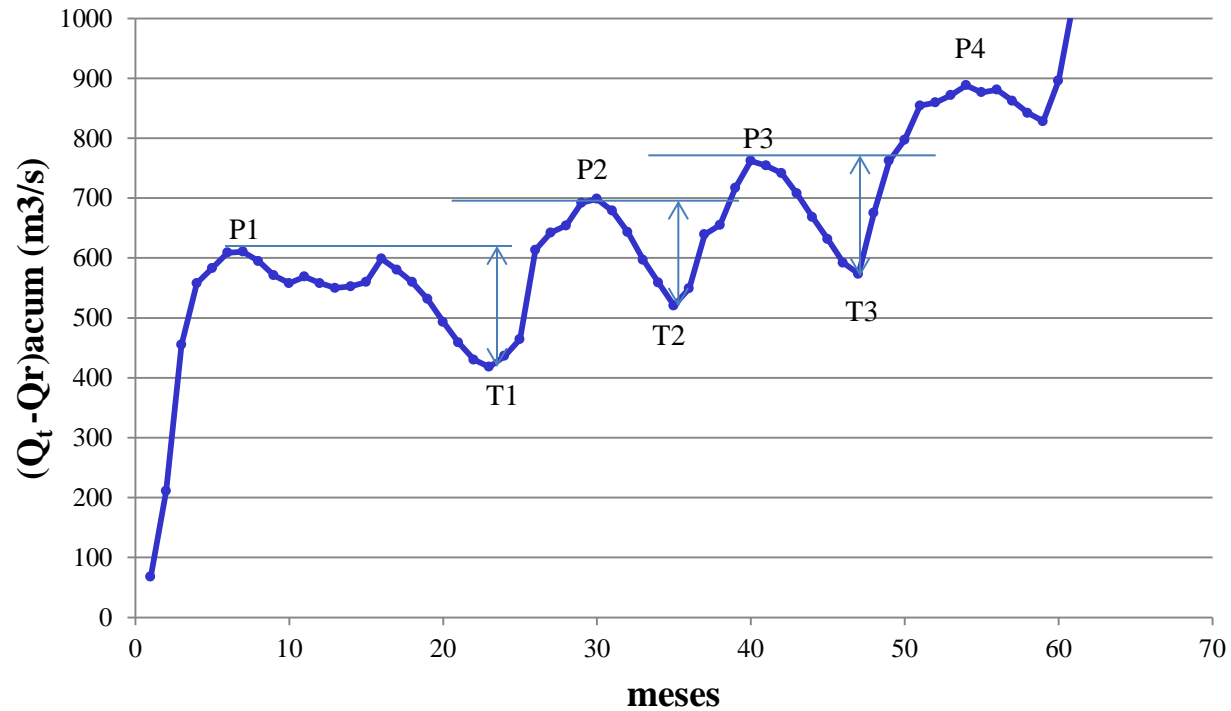


Picos Sequenciais - Planilha auxiliar

t	Qt (m3/s)	(Qt - Qr) (m3/s)	(Qt - Qr)acum. (m3/s)
J	148	68	68
F	223	143	211
M	324	244	455
A	183	103	558
M	105	25	583
J	106	26	609
J	81,4	1,4	610,4
A	64,3	-15,7	594,7
S	56,2	-23,8	570,9
O	66,9	-13,1	557,8
N	91	11	568,8
D	69,2	-10,8	558
J	71,9	-8,1	549,9
F	82,6	2,6	552,5
M	87,3	7,3	559,8
A	119	39	598,8
M	61,5	-18,5	580,3
J	59,5	-20,5	559,8
J	51,7	-28,3	531,5
A	41,8	-38,2	493,3
S	45,5	-34,5	458,8
O	51,3	-28,7	430,1
N	68,2	-11,8	418,3
D	98,1	18,1	436,4
J	108	28	464,4
F	229	149	613,4
M	109	29	642,4
A	91,7	11,7	654,1
M	118	38	692,1
J	86,5	6,5	698,6
J	60,2	-19,8	678,8
A	44,2	-35,8	643

S	34	-46	597
O	41,6	-38,4	558,6
N	41,8	-38,2	520,4
D	109	29	549,4
J	170	90	639,4
F	95,8	15,8	655,2
M	142	62	717,2
A	125	45	762,2
M	72	-8	754,2
J	67,4	-12,6	741,6
J	46,1	-33,9	707,7
A	40,4	-39,6	668,1
S	43,3	-36,7	631,4
O	40,7	-39,3	592,1
N	61,2	-18,8	573,3
D	182	102	675,3
J	167	87	762,3
F	115	35	797,3
M	137	57	854,3
A	85,1	5,1	859,4
M	92,4	12,4	871,8
J	96,4	16,4	888,2
J	68,4	-11,6	876,6
A	84,1	4,1	880,7
S	61,6	-18,4	862,3
O	59,8	-20,2	842,1
N	66	-14	828,1
D	148	68	896,1
J	217	137	1033,1
F	256	176	1209,1
M	290	210	1419,1
A	213	133	1552,1
M	151	71	1623,1

Picos Sequenciais



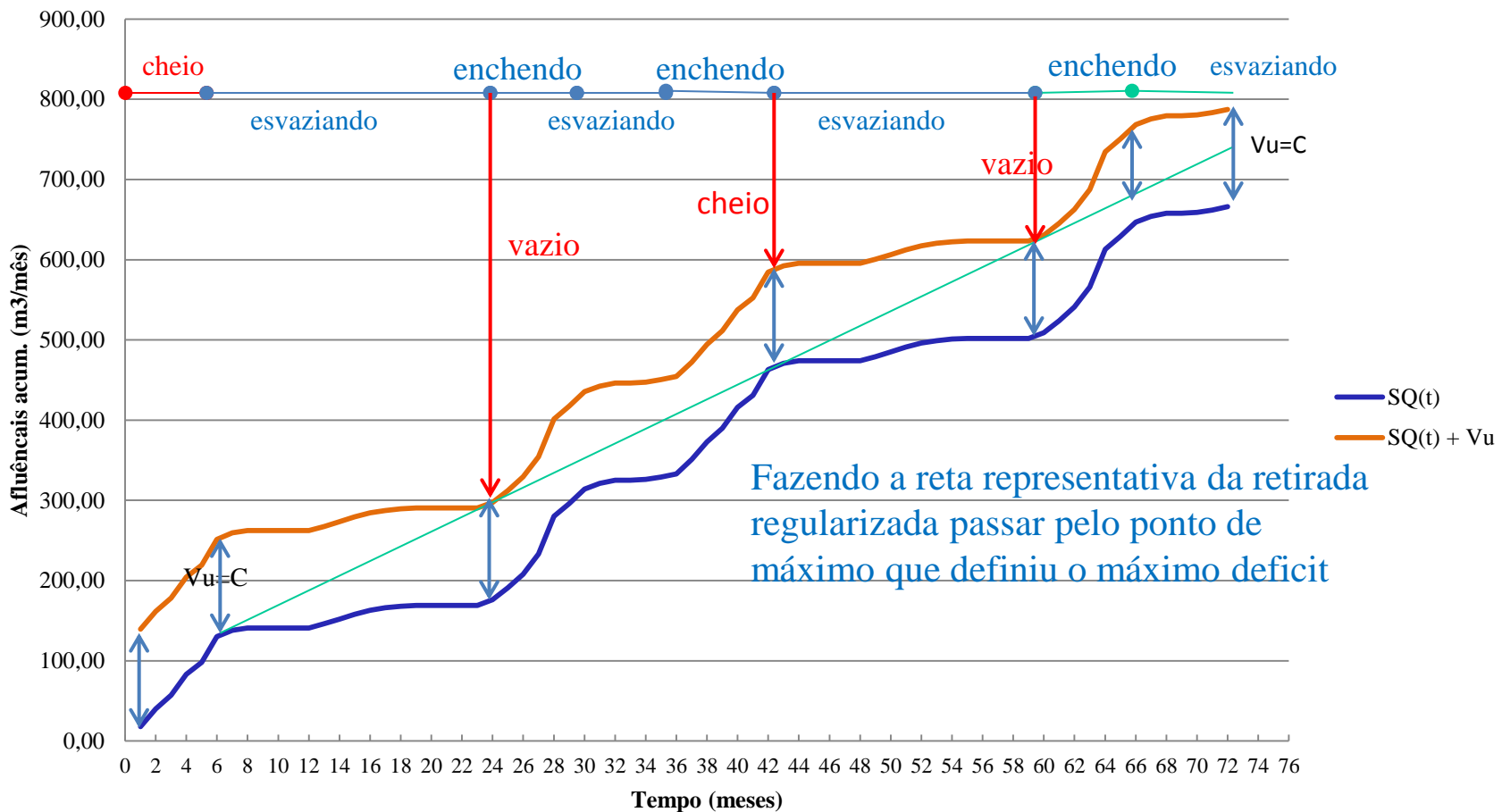
5. Operação de reservatórios

5. Operação dos reservatórios

- Uma vez dimensionado, como operar esse reservatório?
 - prover uma capacidade afluyente extra igual à capacidade do reservatório (C) ao diagrama de massas, desde o início do período (res. Cheio)
 - Equivale a desenhar o Diagrama de massa deslocado de C

5. Operação dos reservatórios (cont.)

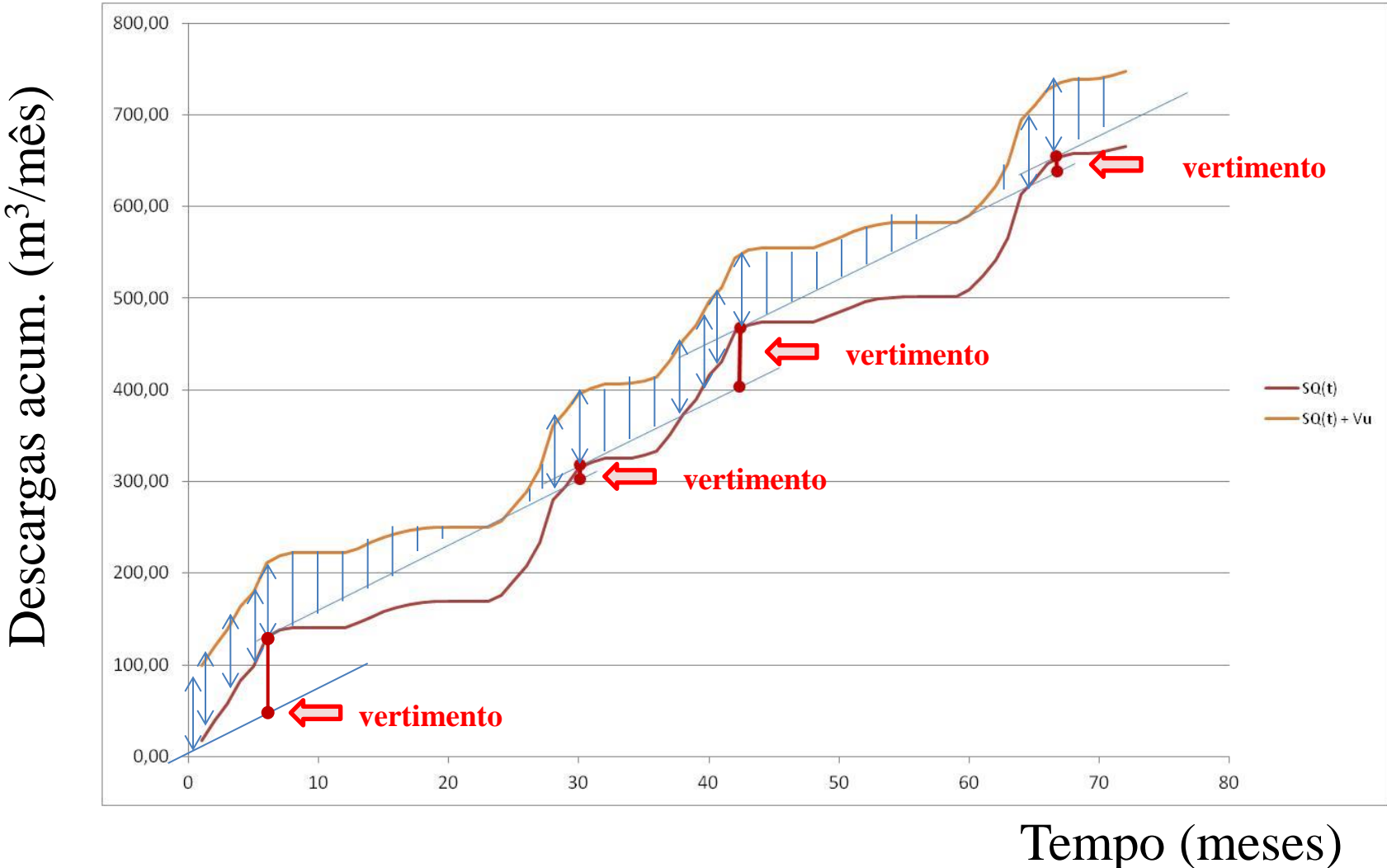
Exemplo: para a lei de regularização=100%



O volume presente no reservatório instantaneamente corresponde à diferença entre a curva laranja e a reta azul a cada instante, evidenciando períodos de enchimento e esvaziamento do reservatório

5. Operação dos reservatórios (cont.)

Exemplo: para a lei de regularização=75%



Exercício 1

$\Sigma Q (-m^3/s \cdot mês)$



Exercício 2

Clube: número de segundos do mês



Exercício 1

a) como $C_1 > C_2$

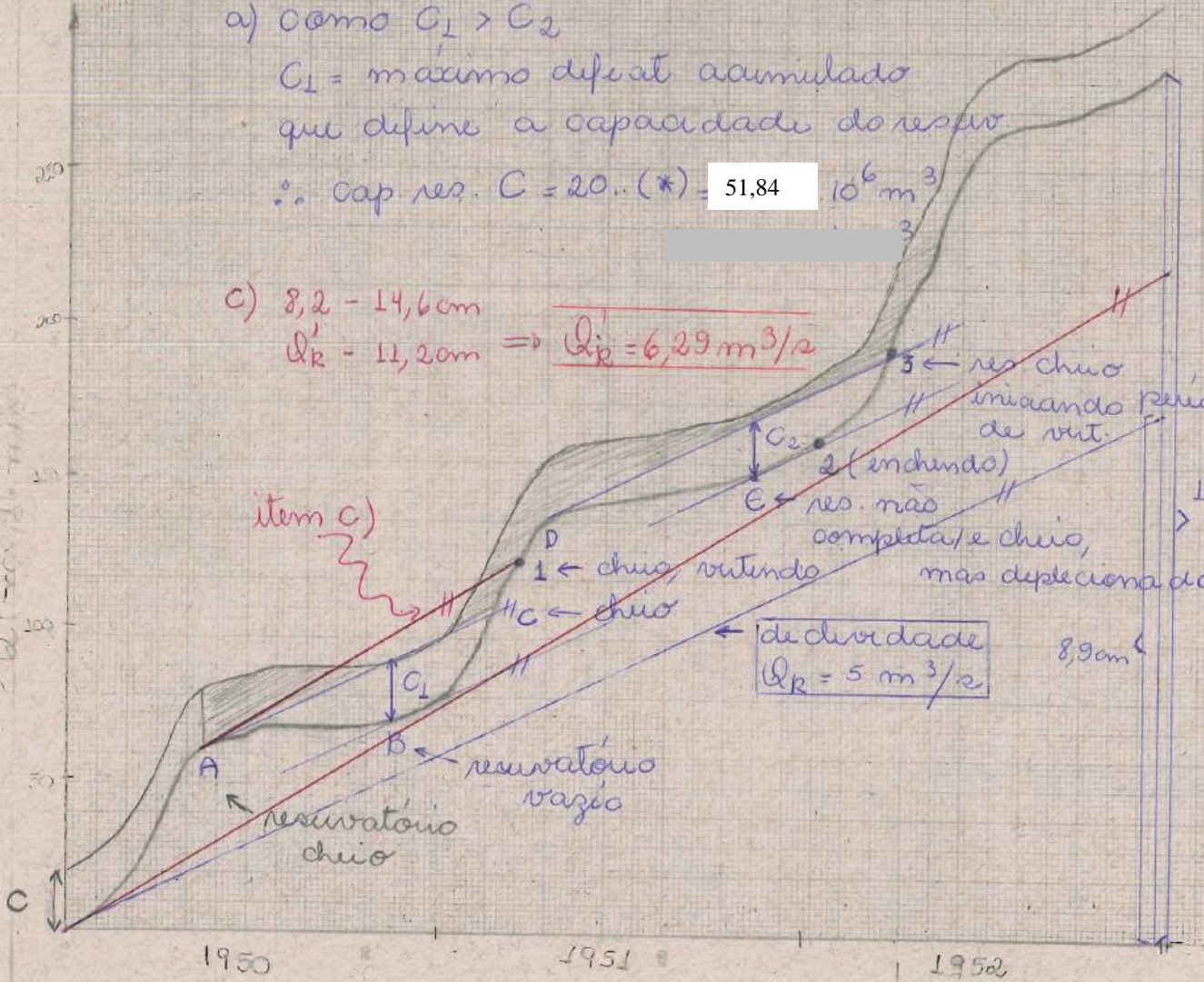
C_1 = máximo deficit acumulado que define a capacidade do reserv

\therefore cap. res. $C = 20 \cdot (*) = 51,84 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

c) $8,2 - 14,6 \text{ cm}$

$Q_R = 11,2 \text{ cm} \Rightarrow Q_{R'} = 6,29 \text{ m}^3/\text{s}$

item c)



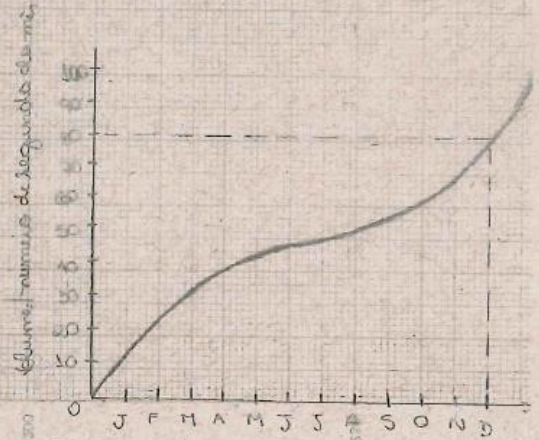
(*) nº de segundos de 1 mês de 30 dias

$$\bar{Q} = \frac{295 \text{ m}^3 \cdot 30 \text{ d} \cdot 24 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s}}{2 \text{ mês} \cdot \text{d} \cdot \text{h} \cdot \text{s}} = \frac{295 \text{ m}^3 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600}{3 \text{ anos} \cdot 12 \text{ meses} \cdot \text{ano}} \cdot (*)$$

$$\bar{Q} = \frac{295}{3 \times 12} = 8,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Q} = 8,2 - 14,6 \text{ cm} \Rightarrow x = 8,9 \text{ cm}$$

Exercício 5



(obs: em sala usamos 280 e não 295)

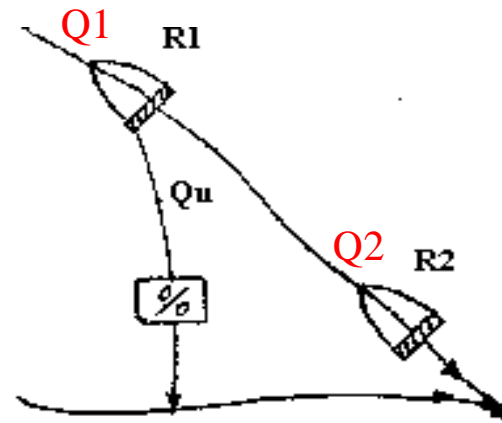
Obs: valores aproximados extraídos do gráfico

6. Exercício

- Vamos resolver o exercício 6 da lista:

Calcular a capacidade dos reservatórios R1 e R2, sabendo-se que a vazão de utilização de R1 é igual a 80% da média das vazões mensais fornecidas na Tabela 1. A vazão de utilização de R2 deverá ser a máxima possível. Analise o volume operacional dos reservatórios mês a mês.

Meses	Q1 (m3/s)	Q2(m3/s)
J	9,6	13,2
F	9	12
M	8	10,1
A	8	10
M	7	9
J	4	6
J	2	3
A	2	2
S	5	5
O	8	9
N	9	12,2
D	10	14,1



7. Simulação hidrológica: considerações finais

Deve-se considerar ainda que, na prática, é necessário um período de retorno superior ao do registro histórico e que a sequência de vazões observada dificilmente repetir-se-á no futuro. Assim, há duas possibilidades:

- a simulação hidrológica para estender a série histórica ou criar outras possíveis séries
- a repetição da série histórica

A simulação hidrológica é a ferramenta através da qual é possível estender a série observada ou produzir outras séries de características estatísticas semelhantes às da série observadas. Apoiase na possibilidade de representação do processo de sucessão de vazões através de modelos matemáticos, com base no conhecimento de determinadas características estatísticas da série histórica.

Nesse caso, cada sequência apontará uma capacidade para o reservatório. A análise de frequência das capacidades obtidas pode ser feita para estimar o risco associado a cada capacidade.

Existem diversos modelos matemáticos para representar o processo de sucessão temporal de vazões. Um modelo bastante conhecido para a geração de vazões mensais é o modelo auto-regressivo de primeira ordem, também conhecido como modelo Thomas-Fiering

- Fim!