

3 — Demanda de água

TH028 – Saneamento Ambiental I

Curso de Engenharia Civil



Objetivos deste módulo

- Estimar o consumo de água na área de projeto
- Entender os fatores intervenientes no consumo de água
- Calcular os coeficientes de reforço
- Calcular as vazões de projeto em cada parte do sistema de abastecimento de água



A questão é:

Qual é a demanda do centro de consumo?
Quanto de água será preciso em cada parte do sistema, do manancial até o hidrômetro?

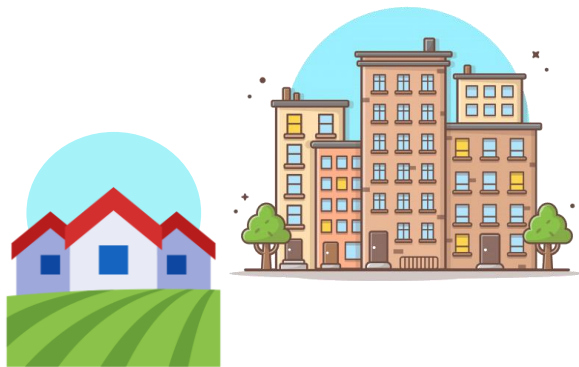
Foco:

QUANTIDADE

Variação temporal
Local da demanda

Estimar a **VAZÃO DE PROJETO** que conduzirá:

- Escolha das fontes de água que suprem essa demanda
- Diâmetro da tubulação das adutoras e da rede de distribuição
- Capacidade das unidades da ETA



- Quem são os consumidores?
- Quantos são os consumidores?
- Quanto consomem?
- Todos consomem igualmente?
- Tem perdas?

Doméstico

Específico

Vazão média

- Varia no tempo? →

• Diária

• Horária

• Alcance do projeto

Coeficientes de reforço

População futura

Consumo de água



Consumo de Água

- Classificação dos consumidores de água:

<ul style="list-style-type: none">• Doméstico	→	Mais homogêneo. Relativamente pequena variabilidade de consumo	Consumo = População x Consumo per capita
<ul style="list-style-type: none">• Comercial• Industrial• Público	}	Mais heterogêneo. Há desde pequenos até grandes consumidores.	Consumo específico

Política tarifária e cobranças diferenciadas.



Consumo doméstico

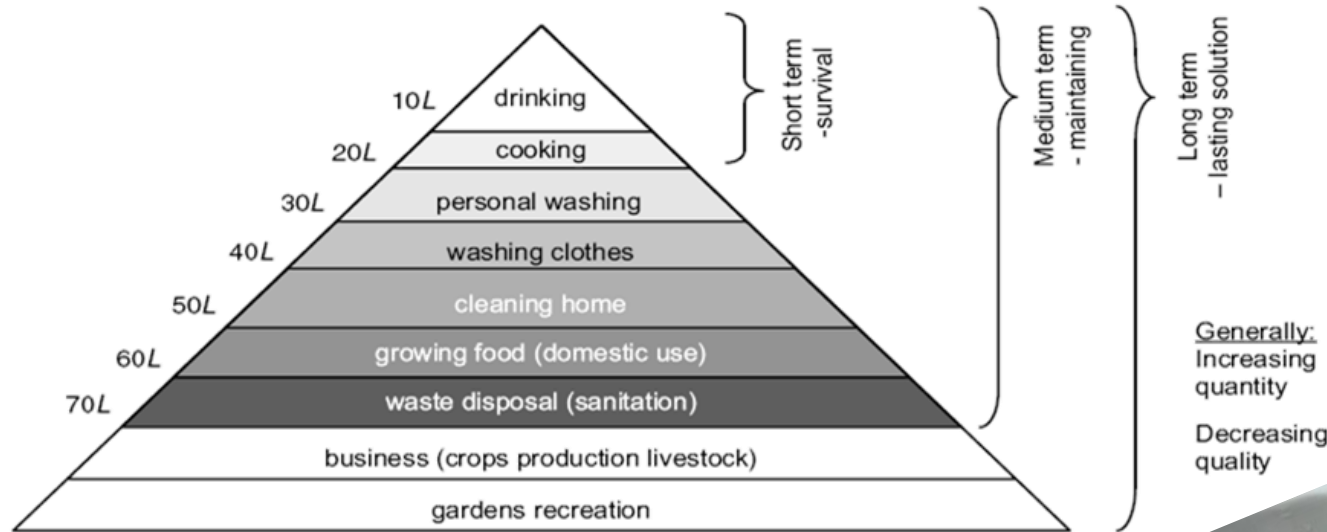


Figure 1. Hierarchy of water requirements
(after Abraham Maslow's (1908-1970) hierarchy of needs)

Quantidade mínima de água requerida

Nível de risco tolerável:	7.5
Situação de emergência:	15
Necessidades básicas de higiene e higiene básica para os alimentos:	20

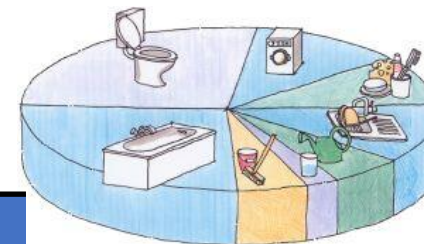
litros per capita por dia



Fatores que influenciam:



Perfil de consumo doméstico de água



60 pessoas
Consumo Banho
Média 52 +/-16 L
(15,6→104)

Pontos de utilização da água	Consumo diário per capita (L/d/hab)
Bacia sanitária	5 (5%)
Chuveiro	60 (55%)
Pia	20 (18%)
Lavatório	9 (8%)
Lavadora de roupa	12 (11%)
Tanque	3 (3%)
TOTAL	109
Fonte:	Residência unifamiliar em SP (Rocha e Barreto, 1999)

Pontos de utilização da água	Consumo (%)
Bacia sanitária	30,9
Chuveiro	26,7
Pia de cozinha	30,0
Bebidas, lavagem de roupa, limpezas, etc	12,4
TOTAL	100
Fonte:	Residências da RMSP (Yoshimoto e Silva, 2001)

Fonte: (apud Tsutiya, 2006)

Consumo doméstico

RMSP

Unidade de negócio	Consumo micromedido (Per capita: L/hab/d)
MC	246
MN	145
MS	130
ML	144
MO	273
Vice-presidência metropolitana	221

Consumo micromedido em 2002
Dados da Vice-presidência metropolitana



Consumo diário em prédios

Prédio	Unidade	Consumo (L/d)
Apartamento	Pessoa	200
Residência	Pessoa	150
Escola – internato	Pessoa	150
Escola – externato	Pessoa	50
Casa popular	Pessoa	120
Alojamento provisório	Pessoa	80

Fonte: NBR 7229, 1982; Dacach, 1979 (apud Tsutiya, 2006)



Uso comercial

Estabelecimento	Unidade	Consumo (L/d)
Escritório	Pessoa	50
Restaurante	Refeição	25
Hotel (sem cozinha e lavanderia)	Pessoa	120
Lavanderia	Kg de roupa seca	30
Hospital	Leito	250
Garagem	Automóvel	50
Cinema, teatro, templo	Lugar	2
Mercado	m ² de área	5
Edifício comercial	Pessoa	50
Alojamento provisório	Pessoa	80

Fonte: Yassuda e Nogami, 1976; Orsini, 1996; Dacach, 1979; NBR 7229, 1982 (apud Tsutiya, 2006)



Uso industrial

Consumo varia por tipo de indústria, e pode haver variação dentro do mesmo tipo.

Estabelecimento	Unidade	Consumo (L/d)
Indústria – uso sanitário	Operário	70
Matadouro – animais de grande porte	Cabeça abatida	300
Matadouro – animais de pequeno porte	Cabeça abatida	150
Laticínio	kg de produto	1 – 5
Curtume	kg de couro	50 – 60
Fábrica de papel	kg de papel	100 – 400
Tecelagem – sem alvejamento	kg de tecido	10 - 20

Fonte: Yassuda e Nogami, 1976; Orsini, 1996; Dacach, 1979 (apud Tsutiya, 2006)



Distribuição do consumo de água na indústria

Categorias de uso:

- Uso humano
- Uso doméstico
- Água incorporada ao produto
- Água utilizada no processo de produção
- Água perdida ou para usos não rotineiros



Uso público

Estabelecimento	Unidade	Consumo (L/unidade/d)
Edifício público	Pessoa	50
Quartel	Pessoa	150
Escola pública	Pessoa	50
Jardim público	m ²	1,5
Uso público geral	Pessoa	25

Fonte: Yassuda e Nogami, 1976; Orsini, 1996; Dacach, 1979; NBR 7229, 1982 (apud Tsutiya, 2006)

Modelos de previsão de consumo

Categoria de consumidor	Consumo médio (m ³ /mês)
Condomínios residenciais (prédio de apartamentos)	$-21,7 + 0,0177 \times (\text{área total construída}) + 2,65 \times (\text{n}^\circ \text{ de banheiros}) + 3,97 \times (\text{n}^\circ \text{ de dormitórios}) (\text{prédio de apartamentos}) - 50,2 \times (\text{n}^\circ \text{ de dormitórios} > 3(\text{sim/não}))^{(1)} + 46 \times (\text{n}^\circ \text{ vagas de garagem/apartamento})$ (1) Parâmetro que assume valor 1 ou 0 (há mais de 3 dormitórios por apartamento: 1; caso contrário:0)
Creches	$5,96 \times (\text{área total construída})^{0,0417} \times (\text{n}^\circ \text{ de bacias} \times \text{n}^\circ \text{ de vagas oferecidas})^{0,352}$
Hospitais	$(2,9 \times \text{n}^\circ \text{ de funcionários}) + (11,8 \times \text{n}^\circ \text{ de bacias}) + (2,5 \times \text{n}^\circ \text{ de leitos}) + 280$
Padarias	$-6,8 + 3,48 \times (\text{n}^\circ \text{ de funcionários}) + 43,4^* (\text{lanchonete}(\text{sim/não}))^{(1)}$ (1) Parâmetro que assume valor 1 ou 0 (há lanchonete: 1; caso contrário: 0)
Postos de gasolina	$18,8 + 12,2 \times (\text{n}^\circ \text{ de funcionários}) - 3,55 (\text{n}^\circ \text{ de bicos para abastecimento})$
Prontos socorros (**)	$(10 \times \text{n}^\circ \text{ de funcionários}) - 70$ ** estabelecimento com mais de 20 funcionários

Estimativa de consumo

Estimativa do consumo

A - Medidor instalado na saída do reservatório (macromedição)

Volume produzido

B – Hidrômetro (micromedição)

Volume consumido

C – Não existe medição

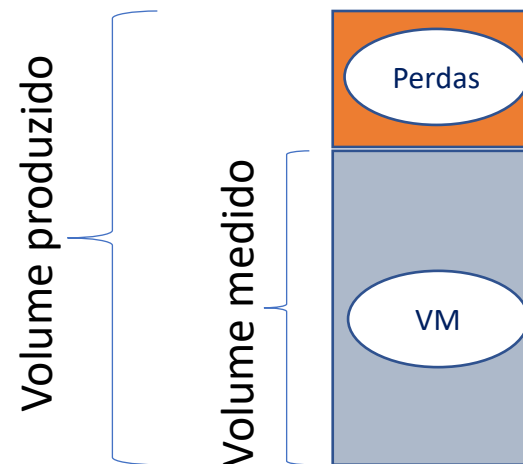
Adotar medições de setores ou sistemas com características semelhantes

Consumo per capita:

$$q = \frac{\text{Volume produzido}}{\text{População atendida}}$$

Consumo efetivo per capita:

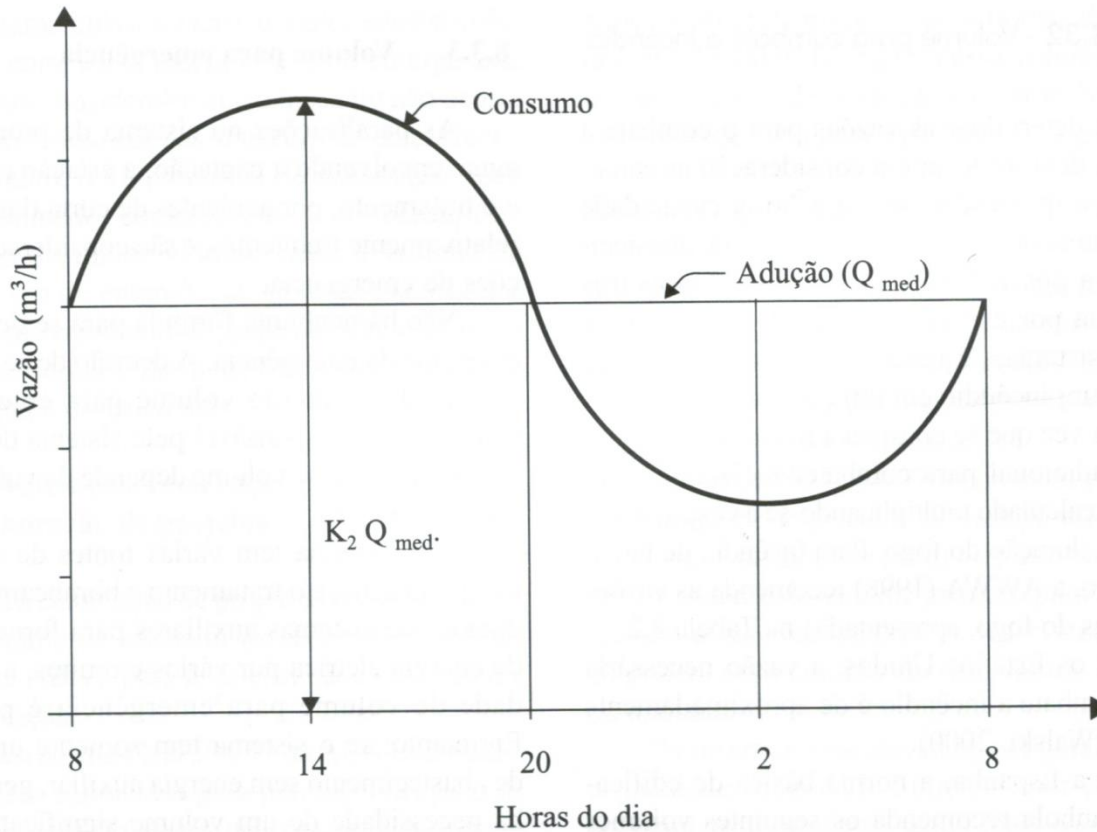
$$q_e = \frac{\text{Volume consumido}}{\text{População atendida}}$$





Indisponível Curva de Consumo

Curva de Consumo assimilada a uma Senóide



V – Volume consumido em um dia de maior consumo

Vazão média: $Q = V/24$

Equação da senóide:

$$Q = (K_2 - 1) \frac{V}{24} \text{sen} \frac{\pi}{12} + \frac{V}{24}$$

K₂ : coef. da hora de maior consumo



Indisponível Curva de Consumo

Curvas de Consumo teóricas

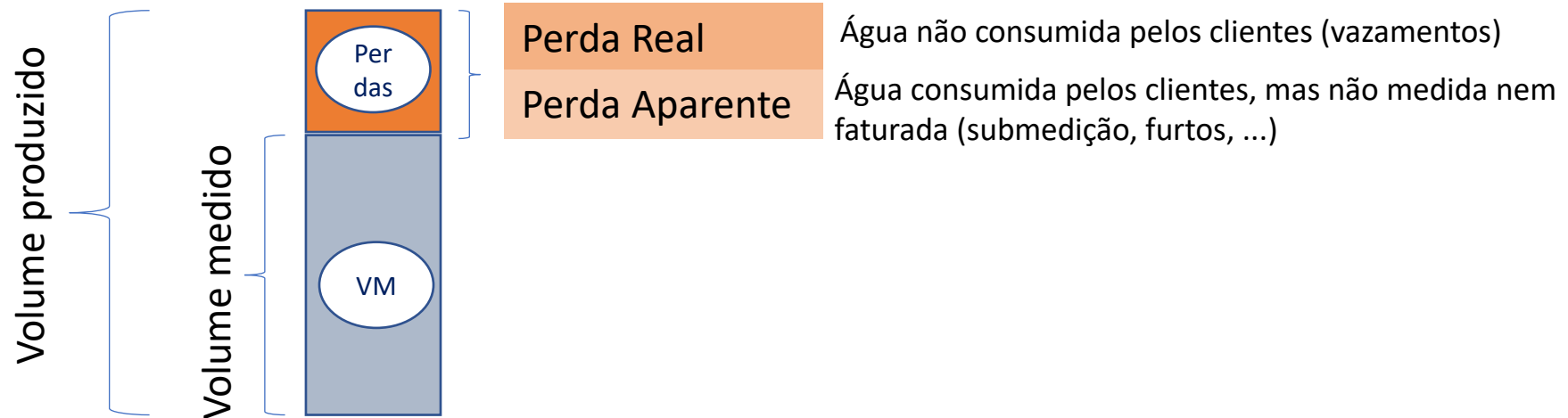
Consumos no intervalo (%)			
Horas	Azevedo Netto	E.R. Yassuda	L.N. Garcez
00 – 02	3,35	4,4	5,6
02 – 04	3,35	4,4	5,3
04 – 06	5,00	5,4	5,3
06 – 08	9,20	7,3	8,1
08 – 10	12,05	9,4	11,0
10 – 12	11,70	11,2	11,2
12 – 14	12,05	12,3	11,0
14 – 16	10,80	12,3	10,8
16 – 18	11,70	11,2	9,8
18 – 20	9,60	9,4	8,5
20 – 22	6,20	7,2	7,3
22 – 24	5,00	5,4	6,1
Total	100 %	100 %	100 %

Vantagem: Possibilidade de ajustar às extrapolações de demanda

Perdas



Perdas



Índice de perdas (vazamentos, fraudes, defeito no medidor, etc):

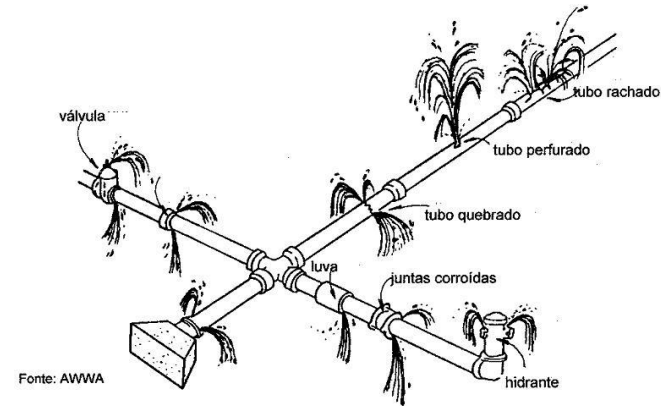
$$IP = \frac{Vol_produzido - Vol_consumido}{Vol_produzido}$$



Perda real

Água distribuída, mas não chega até o consumidor, devido:

- Vazamentos em adutoras
- Vazamentos na redes de distribuição
- Vazamentos nos ramais
- Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios





Perda aparente

Água que o consumidor recebe, porém não paga por ela, porque não é medida, devido:

- Submedição nos hidrômetros *
- Ligações clandestinas
- Fraudes
- Erros de leitura

* Estima-se que é responsável por 90% das perdas aparentes



Fonte das fotos: Sanepar



Exercício 1

Descreva como você estimaria:

Caso A: o consumo per capita de uma comunidade que não possui sistema de abastecimento de água implantado. A adutora chega até um ponto da cidade. Discrimine os dados necessários.

Caso B: o consumo efetivo per capita em sua habitação.
casa, apartamento, casa de estudante...

Caso C: o índice de perda num sistema de abastecimento de água, sendo que a macromedição registrou $2.300 \text{ m}^3/\text{d}$ e a micromedição total $1.800 \text{ m}^3/\text{d}$

Variação temporal e coeficientes de reforço



Variação temporal do consumo

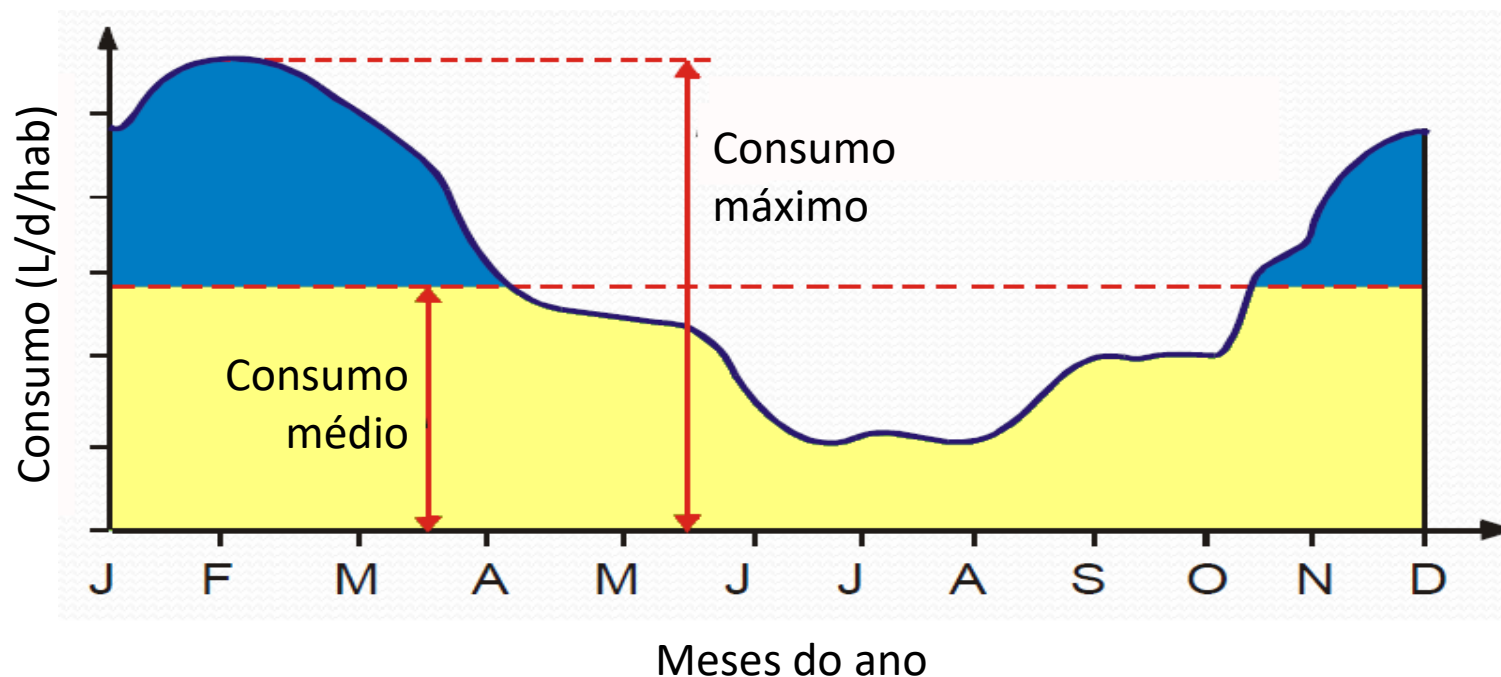
Variação	
ANUAL	Tende a crescer devido: <ul style="list-style-type: none">• aumento populacional,• melhoria nos hábitos,• desenvolvimento industrial.
MENSAL	Maior no verão, menor no inverno
DIÁRIA	Consumo diário maior ou menor que consumo médio diário anual
HORÁRIA	Maior entre 10-12h e menor 3h
INSTANTÂNEA	Atendem a prédios desprovidos de reservatório

Consumo: Variação diária

Coeficiente de reforço do dia
de maior consumo (K_1)

$$K_1 = \frac{\text{Maior consumo diário no ano}}{\text{Consumo médio diário no ano}}$$

Variação do consumo no ano:

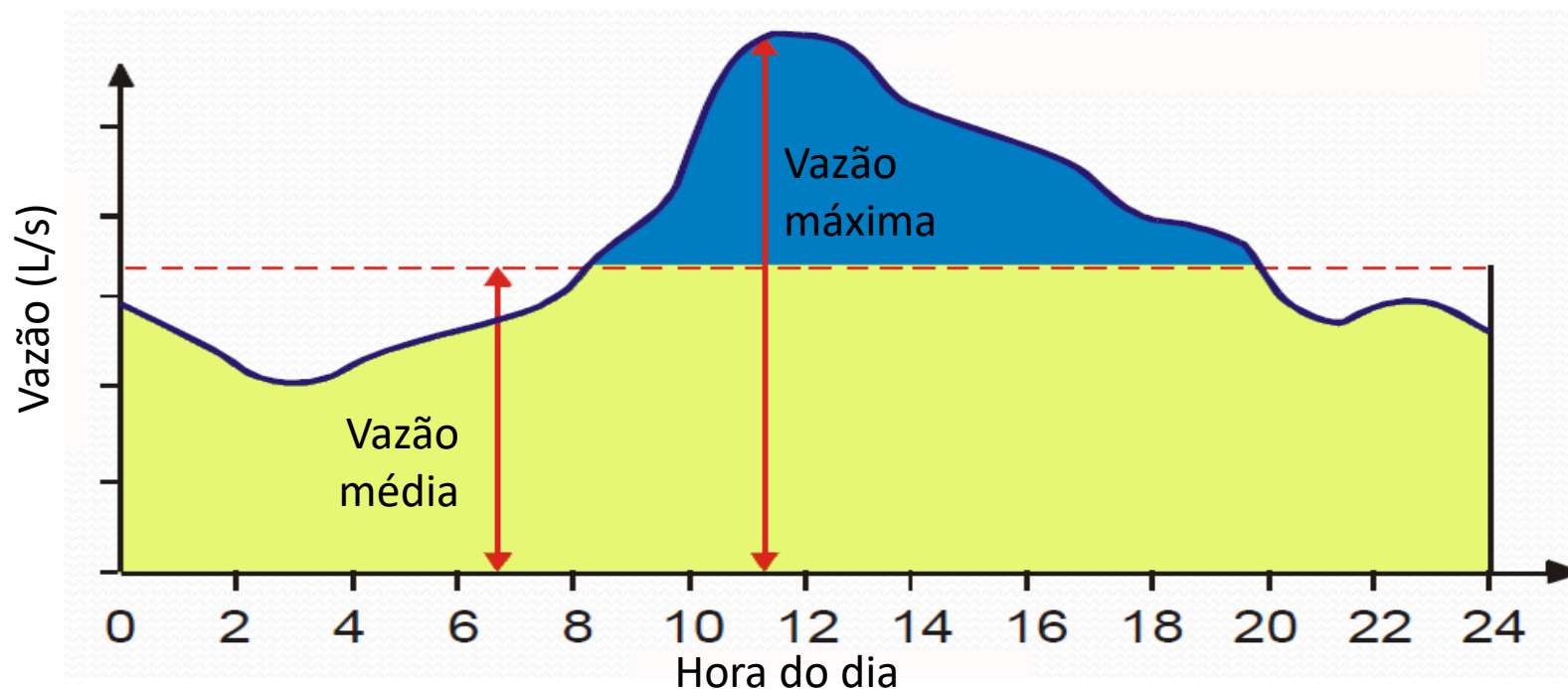


Consumo: Variação horária

Coefficiente de reforço da hora de maior consumo (K_2)

$$K_2 = \frac{\text{Maior vazão horária do dia}}{\text{Vazão média horária do dia}}$$

Variação do consumo diário:



Estudo demográfico



Estudo da população



- Horizonte de **20** anos
- Para diminuir ociosidade do sistema:
 - Construção por etapas, acompanhando curva de demanda:
 - No início: 1 casa de bombas
 - ETA: aumentando capacidade gradativamente

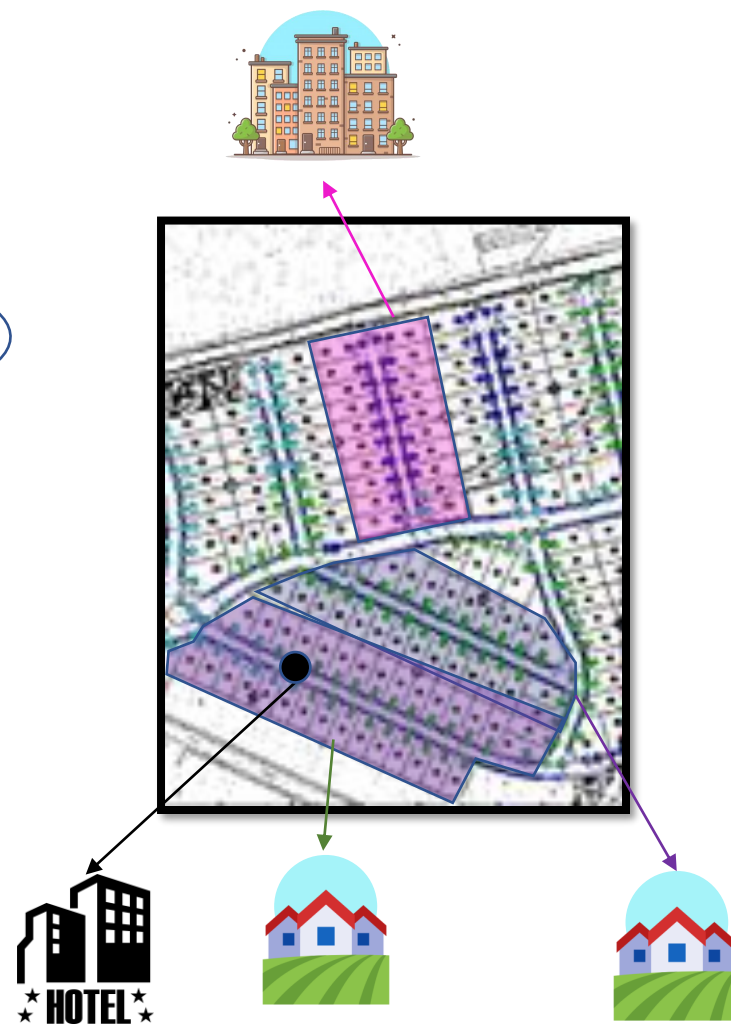
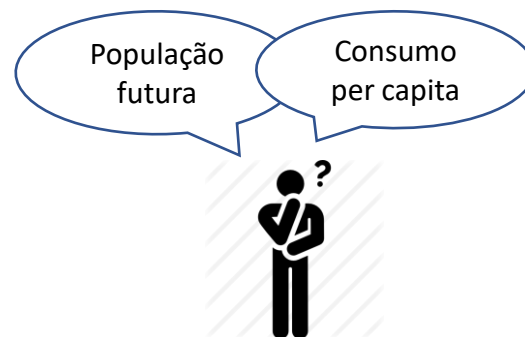
A - População da área de projeto

DADOS:

- Dados populacionais dos 4 últimos censos
- Setores censitários da área de projeto
- Cadastro imobiliário
- Pesquisa de campo
- Planos e projetos existentes
- Plano Diretor do município
- Situação socioeconômica do município
- Elaboração de projeções da população

Considerar:

- **Qualidade** da informação
- Tamanho da **área**
 - Áreas pequenas → erros maiores
- Período de **tempo**
 - Quanto maior → maior o erro esperado





B - Método para estudo demográfico

- Método dos componentes demográficos
- Métodos Matemáticos
 - Aritmético
 - Geométrico
 - Curva logística
- Método da extrapolação gráfica

Método dos componentes demográficos

$$P = P_0 + (N - M) + (I - E)$$

crescimento vegetativo no período

crescimento social no período

onde:

- P = população na data t
- P_0 = população na data inicial t_0
- N = nascimentos (no período $t - t_0$)
- M = óbitos
- I = imigrantes no período
- E = emigrantes no período

APLICAÇÃO:

Tendência passada

Hipóteses futuras:

- Tendências socioeconômicas do processo de metropolização
- Tendências demográficas globais
- Tendências da mortalidade
- Tendência da fecundidade
- Tendência migratória e população recenseada



Método aritmético

Pressupõe crescimento populacional **linear**

Passado:

$$\frac{dP}{dt} = K_a \xrightarrow{\text{Integra-se}} K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Futuro:

$$P = P_2 + K_a(t - t_2)$$

t representa o ano da projeção

Adequado para períodos de tempo pequenos (1 – 5 anos)



Método geométrico

Pressupõe para iguais períodos de tempo, mesma percentagem de aumento da população

Passado:

$$\frac{dP}{dt} = K_g P \xrightarrow{\text{Integra-se}} K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

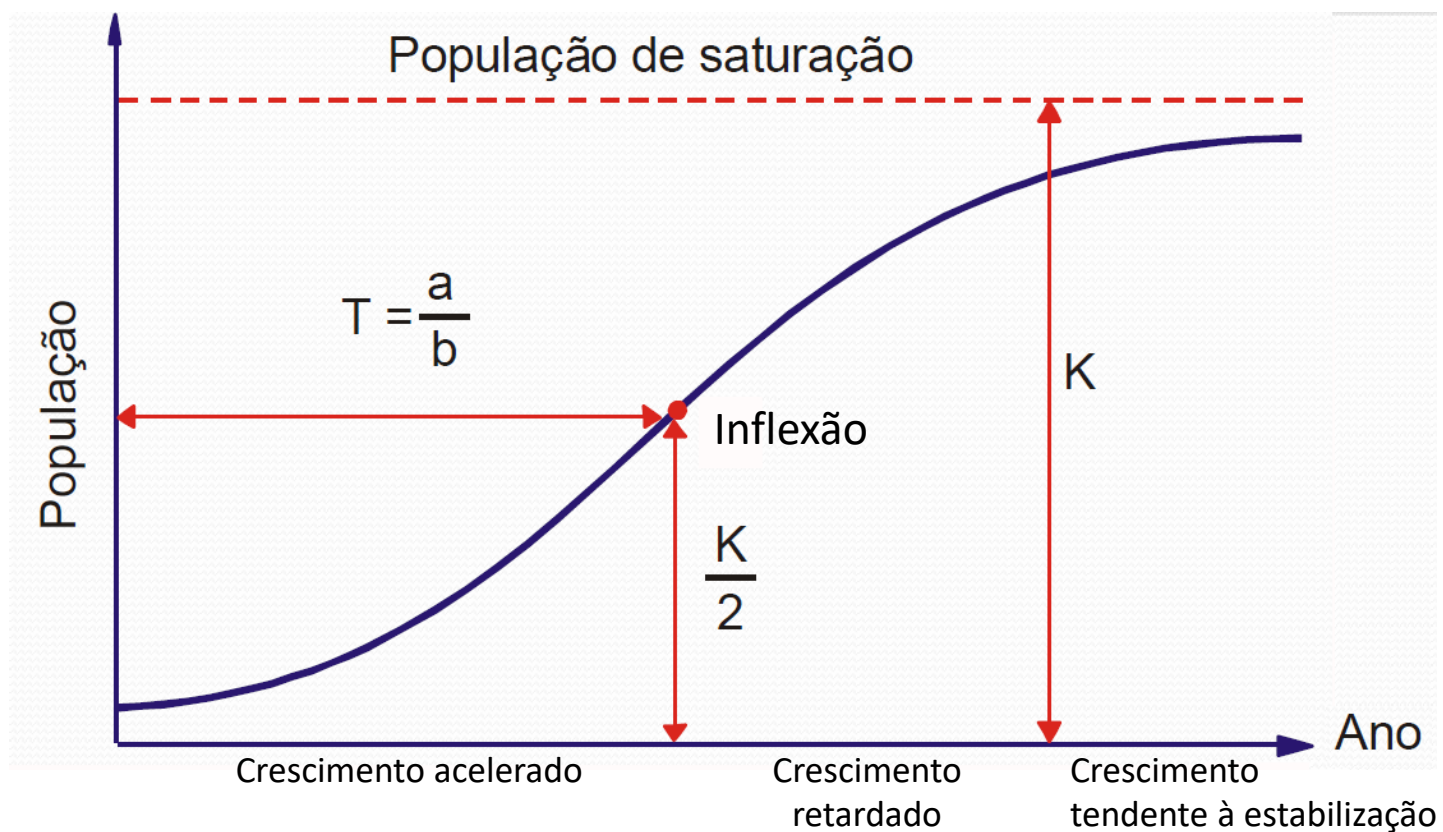
Futuro:

$$P = P_2 e^{K_g(t-t_2)}$$

t representa o ano da projeção

Curva logística

Crescimento da população obedece relação matemática do tipo curva logística
→ população cresce assintoticamente em função do tempo para um valor limite de saturação





Equação da curva logística

$$P = \frac{k}{1 + e^{a-bT}}$$

Três pontos conhecidos:

$$P_0(t_0)$$

$$P_1(t_1)$$

$$P_2(t_2)$$

Restrições:

$$P_0 < P_1 < P_2$$

$$P_0 P_2 < P_1^2$$

$$t_2 - t_1 = t_1 - t_0$$

$$k = \frac{2P_0P_1P_2 - (P_1)^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - (P_1)^2}$$

$$b = -\frac{1}{0,4343d} \log \frac{P_0(k-P_1)}{P_1(k-P_0)}$$

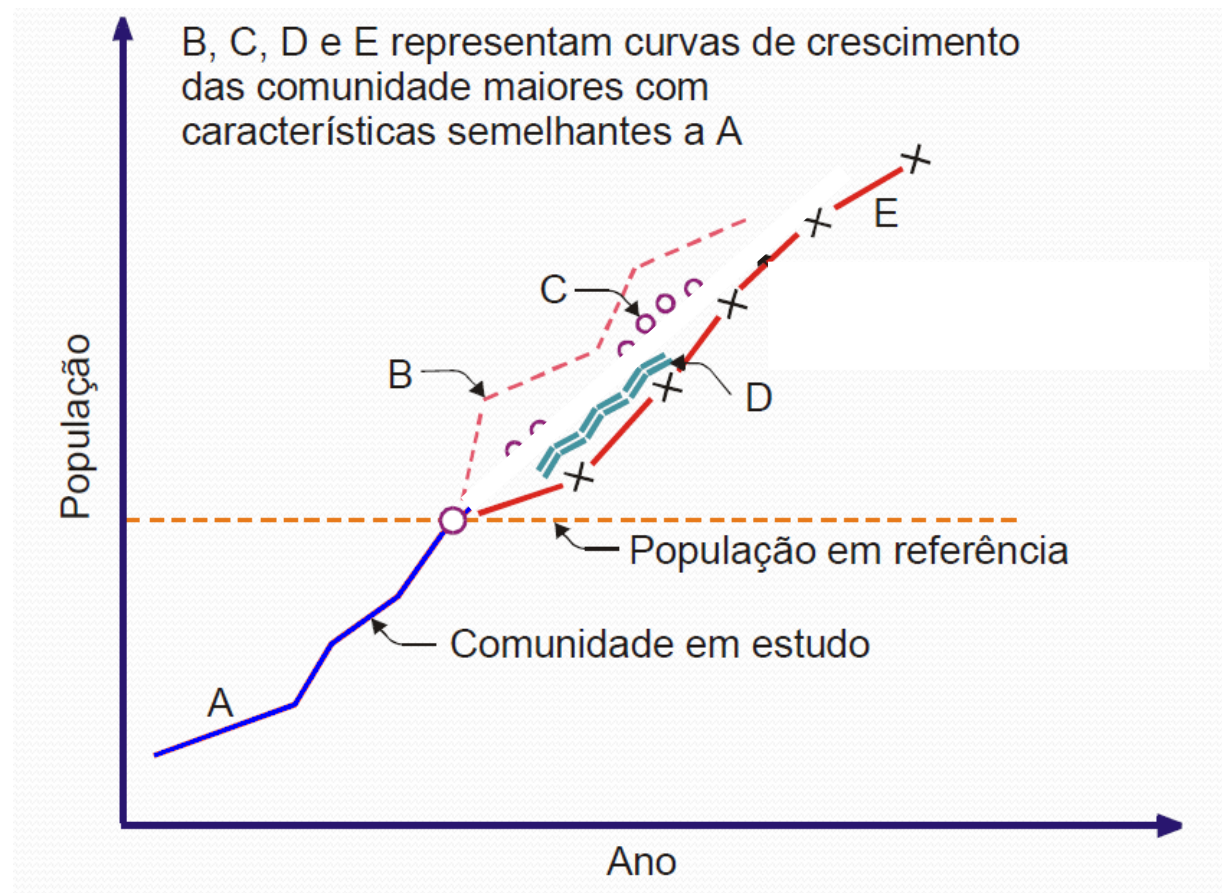
$$a = \frac{1}{0,4343} \log \frac{k-P_0}{P_0}$$

$$d = t_2 - t_1 = t_1 - t_0$$

T: intervalo de tempo entre o ano da projeção e t_0

Método da extrapolação gráfica

- Estimar população por um período grande
- Ajustar uma curva de dados observados de população de outras localidades com características semelhantes ao estudo, mas que tenham população maior





C – População flutuante

- População que se estabelece no núcleo urbano por curto período de tempo.
 - Municípios de veraneio, estâncias climáticas e hidrominerais
- **Estimativa:**
 - Informações de censo: ocupação residencial, ocasional, fechado e vago.
 - Variação do consumo de energia elétrica
 - Variação do fluxo de veículo no sistema viário
 - Crescimento da capacidade instalada na região para alojamento
 - Condição de saturação das praias (m²/banhista)
- **Taxa de ocupação (hab/domicílio)**
 - Baixada Santista - Domicílios permanentes: 3; Uso ocasional: 6,5
 - Litoral Norte de SP - Domicílios permanentes: 4; Uso ocasional: 7



D – Distribuição demográfica

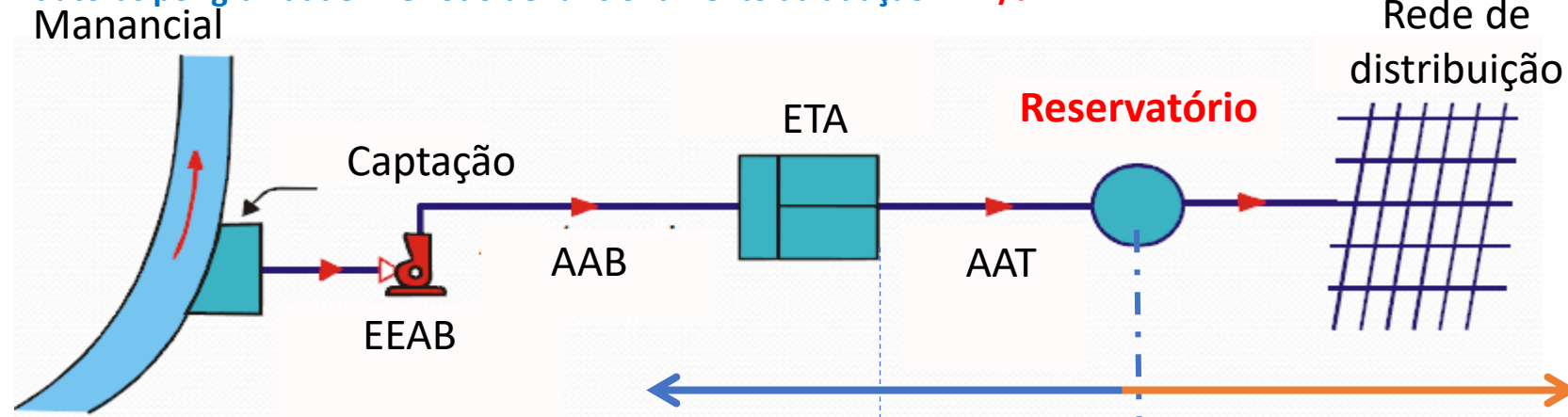
Características urbanas dos bairros	Densidade demográfica de saturação (hab/ha)	Extensão média de arruamento/ha (m)
Bairros residenciais de luxo com lote padrão de 800 m ²	100	150
Bairros residenciais populares com lote padrão de 250 m ²	150	200
Bairros mistos residencial-comercial-industrial da zona urbana com permanência de comércio e indústrias artesanais e leves	600	150
Bairros comerciais da zona central com predominância de edifícios de escritórios	1000	200

Região Metropolitana de SP (fonte Tsutiya, 2006)

Vazões de projeto

Vazões de dimensionamento

Adutoras por gravidade - Período de funcionamento da adução: 24h/d



ETA consome geralmente 1-5% do volume tratado para lavagem de filtros e decantadores

$$Q_1 = (K_1 P q + Q_{esp}) + C_{ETA}$$

$$Q_2 = K_1 P q + Q_{esp}$$

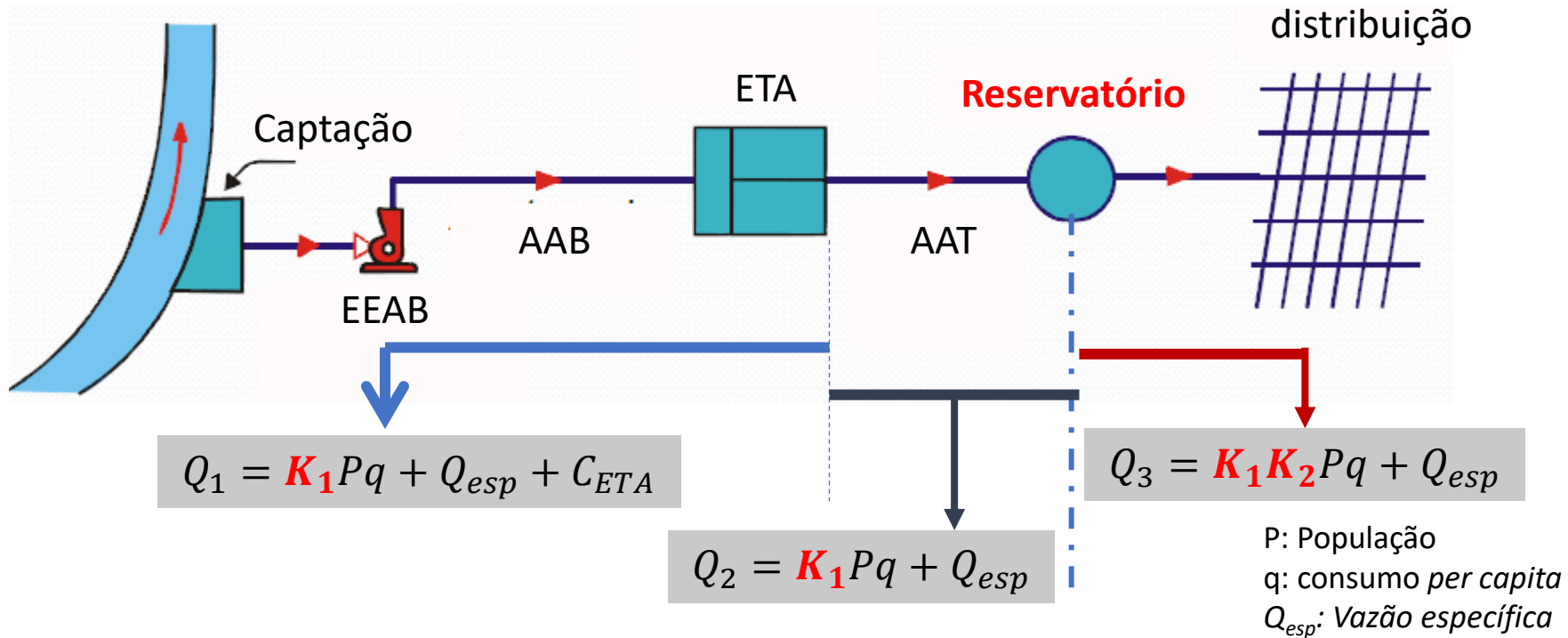
$$Q_3 = K_1 K_2 P q + Q_{esp}$$

P: População q: consumo *per capita* Q_{esp} : Vazão específica

Vazões de dimensionamento x Período de funcionamento da adução

A - Período de funcionamento da adução: 24h/d

Manancial



B - Período de funcionamento da adução: < 24h/d → Q maiores

Aduções por recalque: 16-20 h/d

Bombeamento fora do horário de pico → ↓ consumo de energia → ↓ \$

Exercício 2

Calcular as vazões de dimensionamento de um sistema de abastecimento, indicando os valores na figura abaixo.

Dados: População futura= 2.000 hab

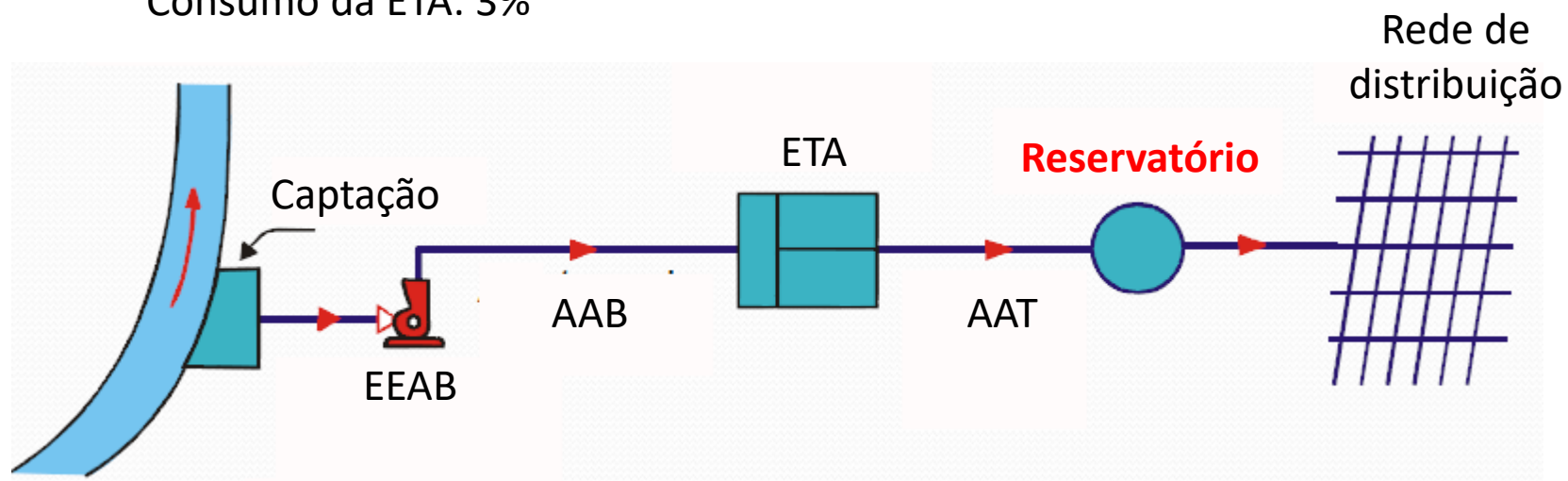
$Q_{\text{hotel}} = 15 \text{ L/s}$

$q = 150 \text{ L/d/hab}$

Consumo da ETA: 3%

$K_1 = 1,2$

$K_2 = 1,5$



- Vazões de dimensionamento com o sistema funcionando 24/d
- Vazões de dimensionamento, todavia com o sistema funcionando 16h/dia.



Tarefa

Ler cap. 3

- Tsutiya, Milton Tomoyuki. 2006. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 643p. 4ª. Edição