



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

SANEAMENTO AMBIENTAL I

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

EDUARDO RIBEIRO DE SOUSA

LISBOA, SETEMBRO DE 2001



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

SANEAMENTO AMBIENTAL I

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA CONSTITUIÇÃO E BASES QUANTITATIVAS DE DIMENSIONAMENTO

EDUARDO RIBEIRO DE SOUSA

LISBOA, SETEMBRO DE 2001



ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO E CONSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS	1
2. ESTIMATIVAS DE POPULAÇÃO	5
2.1 Estudos de evolução	5
2.2 Métodos de cálculo.....	7
3. CONSUMOS E CAUDAIS DE PROJECTO	13
3.1 Considerações gerais.....	13
3.2 Caudais de projecto.....	14
3.2.1 Introdução	14
3.2.2 Caudais para satisfazer os consumos domésticos.....	16
3.2.3 Caudais para satisfazer os consumos comerciais e de serviços	17
3.2.4 Caudais para satisfazer os consumos industriais e similares	17
3.2.5 Caudais para satisfazer os consumos públicos	18
3.2.6 Caudais para fazer face a perdas e fugas	18
3.2.7 Caudais para combate a incêndios	20
3.2.8 Factores de ponta	21



1. INTRODUÇÃO E CONSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS

Um sistema de abastecimento e distribuição água pode considerar-se constituído por um conjunto de partes. A cada uma destas partes correspondem-lhe órgãos, constituídos por obras de construção civil, equipamentos eléctricos e electromecânicos, acessórios, instrumentação e equipamentos de automação e controle. Cada órgão num sistema de abastecimento e distribuição de água tem um objectivo/função.

No Quadro 1, apresenta-se uma síntese da constituição dos sistemas (partes, órgãos e objectivos/funções).

Além disso, na concepção e dimensionamento de sistemas de abastecimento e distribuição de água é indispensável avaliar, por um lado, as disponibilidades nas possíveis origens, e, por outro, as necessidades de água, actuais e futuras (para um dado horizonte de projecto – ver conceito mais adiante).

Para a avaliação das disponibilidades de água, de acordo com as necessidades actuais e futuras do sistema de abastecimento de água, e, no caso de origens superficiais, para assegurar outros usos (como por exemplo, rega, produção de energia e caudal ecológico), é necessário:

- para as origens superficiais, elaborar estudos hidrológicos, para avaliar as disponibilidades com um determinado grau de risco (período de retorno);
- para as origens subterrâneas, executar sondagens e ensaios de produtividade, com o mesmo objectivo anteriormente referido.

Para qualquer das origens, é necessário proceder à avaliação da qualidade da água nos parâmetros definidos no Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, para abastecimento público, através de uma campanha de monitorização, com a duração e o número de amostras especificadas no referido diploma legal. A duração e o número de amostras devem garantir uma representatividade estatística e permitir avaliar a variabilidade da qualidade, ao longo do ano hidrológico.



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Para a avaliação das necessidades actuais e futuras (para um dado horizonte de projecto) é necessário avaliar, por um lado, a situação demográfica actualizada da área a servir com o sistema de abastecimento e distribuição de água (quer em termos da população residente e flutuante), assim como a sua evolução previsível para um dado horizonte de projecto, e, por outro, os consumos de água (actuais e futuros), para os diferentes usos no aglomerado populacional, como sejam os consumos domésticos, comerciais e de serviços, industriais e similares, e públicos.

O estudo da avaliação das disponibilidades de água não faz parte desta disciplina, uma vez que são matérias incluídas no programa de outras disciplinas. Consequentemente, não são tratadas neste Documento.

Neste Capítulo, apresentam-se os aspectos relacionados com o horizonte do projecto e período de vida dos empreendimentos; no Capítulo 2, apresentam-se os métodos para estimar a evolução da população para os horizontes considerados e, finalmente, no Capítulo 4 o cálculo dos caudais de dimensionamento.

As estações de tratamento de água (normalmente designadas pelo acrónimo ETA), que se podem situar, no caso mais geral, entre a origem e os reservatórios de distribuição, são objecto de uma outra disciplina (Instalações de Tratamento).

As redes de distribuição podem distinguir-se em dois tipos: as redes gerais de distribuição e as redes de distribuição interiores dos edifícios.

Além das tubagens, os elementos funcionais mais importantes nos sistemas de adução e nas redes de distribuição de água são as estações de bombagem e os reservatórios.

Na Figura 1, apresenta-se um esquema típico dum sistema de abastecimento de água, extraído da importante obra de *Fair, Geyer e Okun, Water and Wastewater Engineering* (edição da *John Wiley and Sons*).

A importância da avaliação correcta das quantidades de água para as quais se deve projectar os sistemas de abastecimento de água reside, fundamentalmente, no facto de aqueles sistemas

envolverem elevados investimentos e de demorada execução e não serem facilmente ampliáveis.

QUADRO 1 - CONSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Parte	Órgãos	Objectivo / função
Captação	Obras de captação	Captar água bruta nas origens (superficiais e subterrâneas), de acordo com as disponibilidades e as necessidades.
Elevação	Estações elevatórias e sobrepessoras	Bombar água (bruta ou tratada) entre um ponto de cota mais baixa e um ou mais pontos de cota mais elevada.
Transporte ou adução	Adutores, aquedutos e canais	Conjunto de obras destinadas a transportar a água desde a origem à distribuição. O transporte pode ser: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> em pressão (por gravidade e por bombagem); <input type="checkbox"/> com superfície livre (aquedutos e canais).
Tratamento	Estações de tratamento de água (ETA)	Produzir a água potável a partir de água bruta, obedecendo às normas de qualidade (Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto - Anexo VI).
Armazenamento	Reservatórios	Servir de volante de regularização, compensando as flutuações de consumo face à adução. Constituir reservas de emergência (combate a incêndios ou em casos de interrupção voluntária ou acidental do sistema de montante). Equilibrar as pressões na rede de distribuição. Regularizar o funcionamento das bombagens.
Distribuição	Rede geral pública de distribuição de água	Conjunto de tubagens e elementos acessórios, como sejam juntas, válvulas de seccionamento e de descarga, redutores de pressão, ventosas, bocas de rega e lavagem, hidrantes e instrumentação (medição de caudal, por exemplo), destinado a transportar água para distribuição
Ligação domiciliária	Ramais de ligação	Asseguram o abastecimento predial de água, desde a rede pública até ao limite da propriedade a servir, em boas condições de caudal e pressão
Distribuição interior	Redes interiores dos edifícios	Conjunto de tubagens e elementos acessórios para distribuição de água no interior dos edifícios

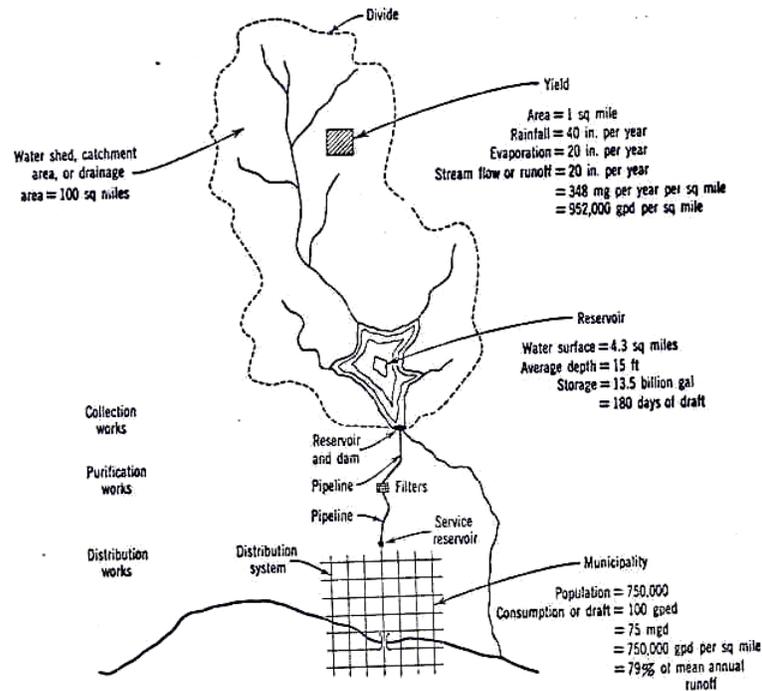


Figura 1 - Exemplo ilustrativo da constituição de um sistema de abastecimento de água com origem superficial

Segundo Fair *et al.*, a escolha da capacidade inicial ou de projecto não é simples, necessitando habilidade e competência na interpretação das tendências sociais e económicas da área a servir e juízo de avaliação seguro na análise da experiência passada e na previsão das necessidades futuras. Assim, os principais elementos a considerar a este respeito num projecto são os seguintes:

- Horizonte do projecto e período de vida dos empreendimentos** : número de anos durante os quais o sistema de abastecimento de água ou obras de construção civil, equipamentos eléctricos e electromecânicos, acessórios as estruturas e equipamento que o compõem tem que servir em boas condições (este aspecto será abordado no parágrafo seguinte);
- População de projecto** ou população futura: população a servir no horizonte do projecto. (este aspecto será abordado no Capítulo 3);
- Caudais de projecto**: são as bases quantitativas a considerar no dimensionamento dos diferentes órgãos (este aspecto será abordado no Capítulo 4);



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

- d) **Área de projecto**: na qual se têm que avaliar as densidades populacionais e os quantidades de água a considerar nas suas zonas residenciais, comerciais, industriais e outras;
- e) **Hidrologia do projecto** ou dados hidrológicos para avaliar as disponibilidades de água (superficiais e/ou subterrâneas).

Os factores mais relevantes que condicionam a escolha do horizonte do projecto de sistemas de abastecimento de água são os seguintes:

- 1º vida útil das obras de construção civil e dos equipamentos (eléctricos e electromecânicos);
- 2º facilidade ou dificuldade de ampliação do sistema;
- 3º previsão da evolução da população, incluindo desvios bruscos de desenvolvimento;
- 4º aumento da taxa de juro durante o período de amortização do investimento;
- 5º funcionamento da instalação nos primeiros anos de exploração.

Dum modo geral, pode dizer-se que, quanto maior for a vida útil, maior dificuldade de ampliação, mais baixo e uniforme o crescimento populacional, menor a taxa de juro correspondente ao empréstimo de capital e melhor funcionamento inicial, mais dilatado pode ser o horizonte de projecto.

O Quadro 1 resume alguns elementos relativos a este importante assunto referidos a estruturas e equipamentos ligados a sistemas de abastecimento de água.

2. ESTIMATIVAS DE POPULAÇÃO

2.1 Estudos de evolução

A concepção e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água, para resultarem na prática, necessitam basear-se em dados característicos da população servida e a servir, no horizonte de projecto.

A não ser em casos especiais, nos quais já se conhece o valor dessa população em estudos demográficos de planeamento da região, compete ao engenheiro avaliar qual a população futura a partir da população presente.

**QUADRO 1 - VIDA ÚTIL MÉDIA E HORIZONTES DE AMORTIZAÇÃO E DE PROJECTO
 CONSIDERADOS PARA OBRAS LIGADAS À ENGENHARIA SANITÁRIA**

TIPO DE OBRA	DURAÇÃO PROVÁVEL (anos)	PERÍODO DE AMORTIZAÇÃO (anos)	HORIZONTE DE PROJECTO (anos)
Compra de terrenos para grandes obras	-	80	-
Idem para outras obras	-	60	-
Grandes obras de engenharia civil (barragens, túneis, reservatórios, etc.).....	80 - 100	50 - 60	50
Furos e poços de captação.....	50 - 60	30	20 - 30
Tomadas de água em rios	40 - 50	30	20 - 40
Grandes condutas adutoras.....	60 - 80	40 - 60	50
Estações de bombagem e outros edifícios	40 - 60	30	20 - 40
Crupos electrobomba e outros equipamentos electromecânicos.....	25 - 35	20 - 25	20 - 25
Reservatórios e torres de pressão	80 - 100	40 - 50	20 - 40
Condutas principais de água potável	50 - 100	30 - 40	30 - 40
Condutas de distribuição	30 - 40	30	Máxima expansão urbana
Instalações de tratamento (construção civil)	40 - 60	30	20 - 40
Instalações de abrandamento e outros tratamentos químicos.....	20 - 30	15	20 - 25

As estimativas de evolução da população podem ser feitas com a partir de diversos métodos, cuja escolha deve ser feita pelo engenheiro, tendo como base principalmente a sua experiência e o bom senso.

O crescimento de uma aglomeração humana assemelha-se ao de uma cultura bacteriana, apresentando quase todas as suas fases, isto é:

- a de início do crescimento tendo em conta a adaptação do organismos ao meio (*lag-time*);
- a de crescimento muito rápido (geométrico positivo);
- a de aumento mais lento (aritmético);
- a do retardamento de crescimento (geométrico negativo);
- e a de saturação ou estacionária, além da qual começa a fase recessiva até ao desaparecimento da espécie, em consequência da adversidade do meio modificado pelas próprias toxinas da referida espécie.



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Em relação ao crescimento populacional, considera-se apenas a parte da curva constituída pelas diversas fases até à de saturação, porque a fase recessiva é mais rara e considerá-la não tem interesse prático.

Em 1799, um sociólogo inglês *Thomas Malthus* escreveu a sua teoria, de que a população tende a crescer mais rapidamente do que os seus meios de subsistência e que, a menos que os nascimentos sejam restringidos por costumes moralizadores, ou pela doença, fome, guerra ou outra calamidade, a humanidade estaria condenada à pobreza e à degradação.

Por outras palavras, a humanidade estará condenada a morrer de fome porque o seu crescimento é mais rápido do que o aumento de produção de alimentos.

A princípio, a teoria de *Malthus* foi encarada com cepticismo, mas agora, depois de inquéritos levados a cabo pelo Padre *Lebret* e pela *FAO*, bem como a *Geografia da Fome* de *Josué de Castro*, verificou-se que, dos mais de 3 000 milhões da população do mundo, apenas 500 milhões têm condições de vida que se podem chamar humanas.

2.2 Métodos de cálculo

Os métodos mais usuais para o cálculo de evolução de populações são os seguintes:

- gráficos;
- taxa de crescimento decrescente;
- matemático - curva logística;
- razão e correlação;
- parcelar;
- previsão de emprego.

➤ **Métodos gráficos**

Nestes métodos, podem-se englobar aqueles que modelam o crescimento segundo uma progressão, aritmética ou geométrica, os que se baseiam na equação dos mínimos quadrados e os métodos comparativos e de extrapolação visual.

As principais vantagens destes métodos são a sua simplicidade e facilidade com que se podem



aplicar. Convém salientar que os resultados obtidos não são exactos, havendo uma certa flutuação que tem que ser compensada com estudos complementares.

▪ **Método aritmético**

Consiste em somar, à população actual, sempre o mesmo número de habitantes em iguais períodos do tempo. Graficamente, o crescimento é representado por uma linha recta, podendo o incremento ser igual ao do último período do censo.

A expressão analítica que traduz esta lei é a seguinte:

$$\frac{dP}{dt} = k_a$$

em que P é a população, t o tempo (expresso em anos) e k_a a taxa de crescimento. Integrando a expressão anterior, obtém-se:

$$P_2 - P_1 = (t_2 - t_1) k_a$$

O Quadro 3 resume o cálculo desta constante, assim como as constantes correspondentes a outros métodos.

▪ **Método geométrico**

O modelo de crescimento da população é agora dado por uma progressão geométrica, sendo a curva representativa de evolução de população uma parábola.

Analiticamente, a lei que traduz este crescimento é dada pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{dP}{dt} = k_g P$$

Integrando esta equação, obtém-se:



$$P_2 = P_1 e^{k_9(t_2 - t_1)}$$

Outra lei de crescimento deste tipo é a chamada *lei de juros compostos*, traduzida pela expressão:

$$P_2 = P_1 (1 + k)^{t_2 - t_1}$$

Para a determinação do valor das constantes, deve ser consultado o Quadro 3.

▪ Método dos mínimos quadrados

Este método resume-se ao cálculo da equação da recta dos mínimos quadrados para os valores obtidos em censos anteriores e a sua extrapolação para anos futuros. Assim, a população no ano n (P_n), é dada pela seguinte expressão:

$$P_n = at_n + b$$

Os parâmetros a e b são obtidos pelas seguintes expressões:

$$a = \frac{\sum t_i \sum P_i - M \sum t_i P_i}{(\sum t_i)^2 - M \sum (t_i)^2} \quad b = \frac{\sum t_i \sum t_i P_i - \sum P_i \sum (t_i)^2}{(\sum t_i)^2 - M \sum (t_i)^2}$$

sendo M o número de censos disponíveis e t_i o ano em que se apurou a população P_i .

▪ Método por comparação

Neste método, tomam-se os censos anteriores de várias cidades semelhantes àquela para a qual se quer fazer a previsão, mas que tenham populações actuais superiores, traçando as respectivas curvas de crescimento de todas elas num mesmo gráfico.

Traçando uma recta paralela ao eixo dos xx , partindo da população actual da cidade em estudo, determinam-se os anos em que as cidades que estão a servir de comparação tiveram a população presente da cidade em questão.

A partir da população actual da cidade, traçam-se curvas paralelas aos traçados das curvas de crescimento situadas acima da horizontal traçada anteriormente. Ter-se-ão, então, valores para a população quantas as cidades que serviram de comparação (Figura 2).

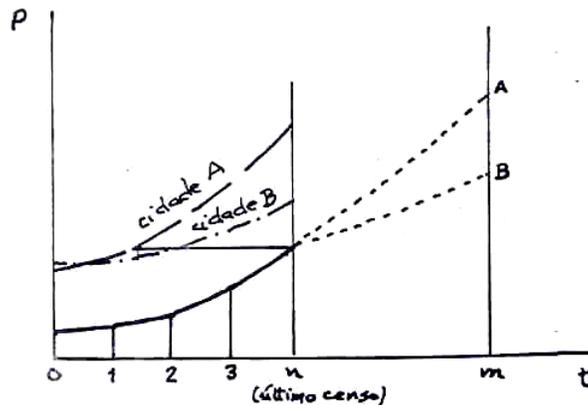


Figura 2 – Método por comparação

- **Método por observação e extrapolação visual**

Este método consiste em marcar num gráfico todos os valores dos censos anteriores e, ainda, os valores das previsões encontradas por diversos processos. Traça-se a sentimento, fazendo uma extrapolação visual, uma curva que melhor se ajuste à curva dos censos anteriores, sabendo que no último ano do período em estudo ela deve ter um valor compreendido entre o mínimo e o máximo dos valores já calculados.

- **Método da taxa de crescimento decrescente**

Geralmente, verifica-se que um núcleo urbano qualquer, quanto maior se torna, menor é a sua taxa de crescimento anual. Esta redução na taxa de crescimento, à medida que o núcleo cresce, é de um modo geral acentuada, havendo grande semelhança entre o decréscimo da taxa de crescimento da população de um país e o da taxa de uma cidade.

Analiticamente, o que se acaba de referir pode ser traduzido pela seguinte expressão:



$$\frac{dP}{dt} = k_d (S - P)$$

em que S é a população de saturação (ver Quadro 3 para o cálculo da constante k_d).

O considerar um decrescimento na taxa de crescimento da população é um dos métodos mais válidos para estimar populações futuras, em especial se for feito com base em estudos semelhantes realizados para cidades que tenham actualmente população superior à da cidade em estudo e características semelhantes.

➤ Métodos matemáticos - curva logística

De entre os vários métodos matemáticos refere-se apenas aquele que resulta da aplicação da chamada curva logística.

Esta lei, que é a integração feita por *Verhulst* da lei proposta por *Malthus*, tem em conta que o crescimento da população depende do tempo e é a que melhor se adapta à realidade (Figura 3).

O problema mais delicado neste método é precisamente o da determinação da população de saturação. Quando se aplica este método é preciso ter em atenção em que zona da curva é que se encontra actualmente a população.

Analiticamente, a expressão que traduz a curva logística ou a curva S é dada por:

$$P = \frac{S}{1 + m e^{bt}}$$

em que S é a população de saturação e m e b são constantes. No Quadro 3, apresentam-se as expressões para calcular os valores de S, m e b.

➤ Método da razão e correlação

Neste método, considera-se que a taxa de crescimento da população de uma dada comunidade pode estar relacionada com a respectiva taxa da região ou do país. Usa-se para tal um factor de

conversão apropriado, que permite passar de estimativas de populações em grandes áreas para a estimativa de crescimento de populações em núcleos urbanos mais pequenos.

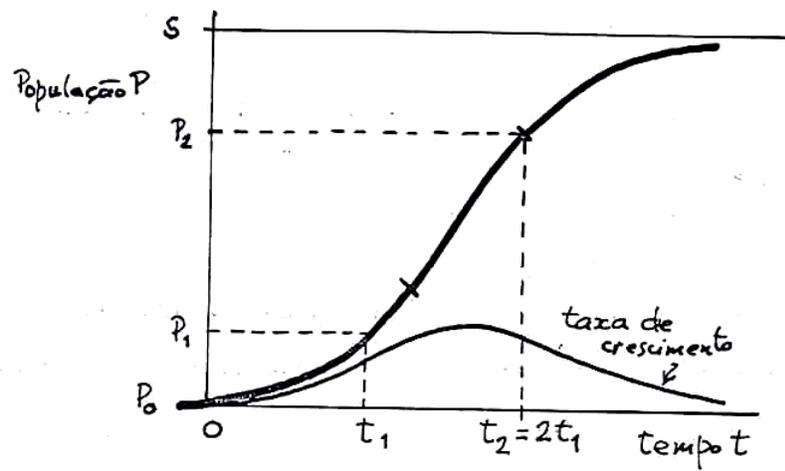


Figura 3 – Curva logística

Os factores de conversão serão dados por:

$$k_r = \frac{P_1}{P_{1R}}$$

em que P_1 é a população no último censo e P_{1R} a população no último censo na região.

➤ Método parcelar

Neste método, a previsão da população baseia-se numa análise parcelar detalhada dos diversos factores que intervêm no crescimento da população, nomeadamente a natalidade/mortalidade e a migração.

Para a análise das taxas de natalidade e mortalidade tem de se tomar em linha de conta o aumento do nível de vida, e quanto à migração tem de se atender à emigração e à migração, fenómenos complexos e difíceis de prever a longo prazo.



Devido à complexidade deste fenómeno, este método é pouco utilizado.

➤ **Método da previsão do emprego**

Neste método, como o próprio nome indica, a estimativa de crescimento da população de um certo aglomerado urbano, baseia-se na variação de oferta e procura de emprego nessa área. É um método usado principalmente em previsões de curto prazo.

De todos os métodos anteriormente descritos, é difícil eleger um como sendo o mais preciso e de aplicação universal.

É agora que entra em jogo a experiência e o bom senso do engenheiro, pois muitas vezes é de posse dos valores obtidos por alguns destes métodos que se pode ajuizar, puramente a sentimento, o valor a atribuir à população de um núcleo urbano ao fim de um dado período.

3. CONSUMOS E CAUDAIS DE PROJECTO

3.1 Considerações gerais

Para que um sistema de abastecimento e distribuição de água resulte, na prática, com êxito, é fundamental que a concepção e dimensionamento se baseiem num conhecimento, tão perfeito quanto possível, das necessidades de água para os diferentes usos até ao horizonte de projecto.

Assim, a determinação dos caudais de dimensionamento dos sistemas têm como bases fundamentais de determinação, no caso de abastecimento de água: o número de habitantes a servir no horizonte de projecto (aspecto que foi objecto de discussão no Capítulo anterior) e o consumo de água *per capita*. Efectivamente, como se verá mais adiante, existem outras parcelas de consumo, para além do consumo doméstico, como sejam as correspondentes aos comerciais e de serviços, aos industriais e similares, e aos públicos.

Para se avaliar o consumo de água *per capita* podem ser seguidos vários critérios, sendo o mais corrente expressá-lo em termos do consumo diário médio anual por habitante, ou seja, da



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

capitação (normalmente expressa em L/(hab.dia)). Este valor obtém-se dividindo o consumo anual total pelo número de habitantes e pelo número de dias do ano.

É de notar que a *capitação* fornece unicamente uma característica média do consumo, não dando qualquer indicação sobre as características mais desfavoráveis (valores extremos - máximos e mínimos) ou sobre as características instantâneas dos volumes de água em jogo.

Embora o conceito de *capitação* pareça à primeira vista extremamente simples, ele apresenta, à partida, a dificuldade de saber quais os valores numéricos a atribuir-lhe em projecto, já que, no nosso País, não se dispõem de muitos dados estatísticos sobre os consumos, nem os existentes estão devidamente compilados. Haverá, portanto, na maior parte dos casos, que atribuir um determinado valor a essa *capitação*, valor esse um pouco arbitrário e sempre passível de discussão.

As *capitações* a atribuir a um dado núcleo urbano são de difícil avaliação, uma vez que são muito variáveis e dependem de diversos factores, entre os quais o clima, o nível de vida, os hábitos da população, entre outros.

A elaboração de estudos de sistemas de abastecimento de água deve basear-se no conhecimento dos consumos de água, quando existam e sejam representativos, os quais podem ser obtidos a partir dos registos dos serviços de exploração da entidade gestora. Com base nos valores do consumo de água e da população, é possível calcular a *capitação* média anual actual e, a partir desta, estimar a sua evolução previsível.

3.2 Caudais de projecto

3.2.1 Introdução

A determinação dos caudais de projecto de sistemas de abastecimento e distribuição de água constitui uma actividade vital para efeitos do dimensionamento deste tipo de infra-estruturas.

Estes caudais destinam-se a satisfazer os consumos domésticos, comerciais e de serviços, industriais e similares, e públicos; há que garantir, ainda, caudais para fazer face a perdas e fugas e para combate a incêndios.

QUADRO 3 - MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DE POPULAÇÕES EM NÚCLEOS URBANOS

MÉTODO		EXPRESSÃO ANALÍTICA	SIGNIFICADO DOS PARÂMETROS	VALOR DAS CONSTANTES
Gráfico Aritmético		$\frac{dP}{dt} = k_a$	P - população t - tempo, em anos k_a - taxa de crescimento aritmético	$k_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$
Gráfico Geométrico	Progressão geométrica	$\frac{dP}{dt} = k_g \cdot P$	k_g - taxa de crescimento geométrico	$k_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$
	Juros compostos	$P_2 = P_1 (1 + k)^{(t_2 - t_1)}$	k - taxa (ou juro) de crescimento	$k = e^{\frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}} - 1$
Taxa de crescimento decrescente		$\frac{dP}{dt} = k_d (S - P)$	S - população de saturação k_d - taxa de crescimento decrescente	$k_d = \frac{-\ln \frac{S - P_2}{S - P_1}}{t_2 - t_1}$
Curva logística		$P = \frac{S}{1 + me^{bt}}$	censos em $t = 0, t = t_1, t = t_2 = 2 t_1$ m, b - constantes n - intervalo entre censos ($n = t_1$) P_0 - população para $t = 0$	$S = \frac{2 P_0 P_1 P_2 - P_1^2 (P_0 + P_2)}{P_0 P_2 - P_1^2}$ $m = \frac{S - P_0}{P_0}$ $b = \frac{1}{n} \ln \frac{P_0 (S - P_1)}{(S - P_0)}$
Razão e correlação		$P = k_r P_R$	P_1 - pop. do centro urbano no último censo P_{1R} - população da região no último censo P - população do centro urbano a prever P_R - população da região prevista k_r - factor de correlação	$k_r = \frac{P_1}{P_{1R}}$



3.2.2 Caudais para satisfazer os consumos domésticos

Para a avaliação dos caudais para satisfazer os consumos domésticos, é indispensável conhecer, por um lado, a situação demográfica actualizada da zona a servir, em termos de população residente e flutuante, esta última se aplicável, e avaliar a sua evolução previsível para o ano horizonte de projecto (aspecto discutido no Capítulo anterior), e, por outro, os consumos de água domésticos.

Como se referiu, os consumos de água domésticos devem ser obtidos, preferencialmente, com base em dados existentes que sejam representativos, os quais podem ser obtidos a partir dos registos dos serviços de exploração dos sistemas existentes.

Quando não se disponha de informação correcta dos consumos, estes devem ser avaliados a partir de valores da capitação estimados, atendendo à dimensão e às características do aglomerado, ao nível de vida da população e seus hábitos higiénicos e às condições climáticas locais.

O Decreto Regulamentar nº 23/95, estipula, no seu artigo 13.º, que:

“As capitações na distribuição exclusivamente domiciliária não devem, qualquer que seja o horizonte de projecto, ser inferiores aos seguintes valores:

- f) 80 l/habitante/dia até 1000 habitantes;
- g) 100 l/habitante/dia de 1000 a 10000 habitantes;
- h) 125 l/habitante/dia de 10000 a 20000 habitantes;
- i) 150 l/habitante/dia de 20000 a 50000 habitantes;
- j) 175 l/habitante/dia acima de 50000 habitantes.”

Nestas condições, o caudal diário médio para satisfazer os consumos domésticos é dado por:

$$Q_{ma} = P \times C / 86\,400$$

sendo:

- Q_{ma} - caudal médio anual para satisfazer os consumos domésticos (L/s)
- P - população servida (residente e flutuante) (hab)



C - capitação (L/(hab.dia))

3.2.3 Caudais para satisfazer os consumos comerciais e de serviços

No que respeita aos caudais para satisfazer os consumos comerciais e de serviços, podem-se verificar, num aglomerado urbano, duas situações distintas:

- as unidades comerciais e de serviços são de pequena dimensão e encontram-se nele disseminadas;
- ou as unidades comerciais e de serviços são de apreciável dimensão e concentradas.

No primeiro caso, os caudais para satisfazer os consumos comerciais e de serviços são normalmente englobados nos caudais para consumo doméstico. No segundo, torna-se indispensável proceder a uma inventariação e a uma localização das unidades comerciais e de serviços, de modo a serem atribuídos caudais concentrados.

Neste ponto, interessa, ainda, referir o que o Decreto Regulamentar nº 23/95, estipula, no seu artigo 14.º, sobre esta matéria:

- “1 - As capitações correspondentes aos consumos comerciais e de serviços podem, na generalidade dos casos, ser incorporadas nos valores médios da capitação global.*
- 2 - Em zonas com actividade comercial intensa pode admitir-se uma capitação da ordem dos 50 l/habitante/dia ou considerarem-se consumos localizados.”*

3.2.4 Caudais para satisfazer os consumos industriais e similares

À semelhança do caso anterior, nos caudais para satisfazer os consumos industriais e similares, podem-se verificar, num aglomerado urbano, duas situações distintas:

- as unidades industriais e similares são de pequena dimensão e encontram-se nele disseminadas;
- ou as unidades industriais e similares são de apreciável dimensão e concentradas.

No primeiro caso, os caudais para satisfazer os consumos industriais e similares são normalmente



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

englobados nos caudais para consumo doméstico. No segundo, torna-se indispensável proceder a uma inventariação e a uma localização das unidades industriais e similares, de modo a serem atribuídos caudais concentrados.

O Decreto Regulamentar nº 23/95, estipula, no seu artigo 15.º, sobre este aspecto, o seguinte:

“1 - Os consumos industriais caracterizam-se por grande aleatoriedade nas solicitações dos sistemas, devendo ser avaliados caso a caso e adicionados aos consumos domésticos.

2 - Consideram-se consumos assimiláveis aos industriais os correspondentes, entre outros, às unidades turísticas e hoteleiras e aos matadouros.”

3.2.5 Caudais para satisfazer os consumos públicos

O Decreto Regulamentar nº 23/95, estipula, no seu artigo 17.º, sobre este aspecto, o seguinte:

“1 - Os consumos públicos, tais como de fontanários, bebedouros, lavagem de arruamentos, rega de zonas verdes e limpeza de colectores, podem geralmente considerar-se incorporados nos valores médios de capitação global, variando entre 5 e 20 l/habitante/dia.

2 - Não se consideram consumos públicos os de estabelecimentos de saúde, ensino, militares, prisionais, bombeiros e instalações desportivas, que devem ser avaliados de acordo com as suas características.”

3.2.6 Caudais para fazer face a perdas e fugas

Nos sistemas de abastecimento e distribuição de água entende-se por perdas e fugas todo o volume de água que não é facturado. O volume de água não facturado pode, em termos gerais, ser dividido nas seguintes parcelas:

- *perdas físicas*, que correspondem aos volumes de água não facturados e não consumidos;
- *perdas não físicas*, que correspondem aos volumes de água não facturados mas consumidos.



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

As perdas físicas, no que respeita estritamente à rede de distribuição de água, correspondem às roturas que se verificam ao longo de todo o sistema, envolvendo a rotura de tubagens e perdas em reservatórios, além das decorrentes dos procedimentos de descargas ou purgas na rede.

As perdas não físicas tem origem distinta, podendo ser equacionadas as seguintes causas principais:

- ligações clandestinas;
- ligações sem contador (por exemplo, nos casos de chafarizes, bocas de rega e de lavagem, hidrantes, entre outros);
- contadores com funcionamento anómalo;
- erros de leitura de contadores.

A redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção e ampliar a capacidade do sistema sem investimentos adicionais, enquanto que a redução das perdas não físicas permite aumentar a facturação, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro da entidade gestora.

Um programa de combate às perdas e fugas exige a adopção de medidas que permitam reduzir as perdas físicas e não físicas, e mantê-las permanentemente em nível adequado, considerando a viabilidade técnico - económica das acções desencadeadas em relação ao processo operacional de todo o sistema.

Neste sentido, é indispensável a realização de um diagnóstico da situação preciso, por forma a conhecer-se, com o máximo rigor possível, o que são perdas físicas e não físicas, e estabelecerem-se as medidas de acção adequadas ao seu combate.

O Decreto Regulamentar nº 23/95, estipula, no seu artigo 17.º, sobre perdas e fugas, o que a seguir se indica:

“As fugas de água nos sistemas devem ser avaliadas, não podendo, em caso algum, admitir-se um valor inferior a 10% do volume de água entrado no sistema.”



3.2.7 Caudais para combate a incêndios

Nesta matéria, o Decreto Regulamentar nº 23/95 é muito explícito, pelo que neste ponto apenas se transcreve o nele contido. Este diploma legal estipula, no seu artigo 18.º, sobre este assunto, o seguinte:

“1 - Os volumes de água para combate a incêndios são função do risco da sua ocorrência e propagação na zona em causa, à qual deve ser atribuído um dos seguintes graus:

- a) Grau 1 - zona urbana de risco mínimo de incêndio, devido à fraca implantação de edifícios, predominantemente do tipo familiar;*
- b) Grau 2 - zona urbana de baixo grau de risco, constituída predominantemente por construções isoladas com um máximo de quatro pisos acima do solo;*
- c) Grau 3 - zona urbana de moderado grau de risco, predominantemente constituída por construções com um máximo de dez pisos acima do solo, destinadas à habitação, eventualmente com algum comércio e pequena indústria;*
- d) Grau 4 - zona urbana de considerável grau de risco, constituída por construções de mais de dez pisos, destinadas a habitação e serviços públicos, nomeadamente centros comerciais;*
- e) Grau 5 - zona urbana de elevado grau de risco, caracterizada pela existência de construções antigas ou de ocupação essencialmente comercial e de actividade industrial que armazene, utilize ou produza materiais explosivos ou altamente inflamáveis.*

2 - O caudal instantâneo a garantir [na rede de distribuição de água] para o combate a incêndios, em função do grau de risco, é de:

- a) 15 l/s - grau 1;*
- b) 22,5 l/s - grau 2;*
- c) 30 l/s - grau 3;*
- d) 45 l/s - grau 4;*
- e) A definir caso a caso - grau 5.*

3 - Nas zonas onde não seja técnica ou economicamente possível assegurar os referidos caudais instantâneos através da rede pública, dimensionada para consumos normais, nomeadamente em pequenos aglomerados, deve providenciar-se para que haja reservas de água em locais adequados, que assegurem aqueles caudais conjuntamente com os caudais disponíveis na rede de distribuição existente.”



3.2.8 Factores de ponta

No dimensionamento dos órgãos dos sistemas de abastecimento e distribuição de água, não interessa apenas conhecer caudais médios, dadas as suas características não extremas, mas importa conhecer também os caudais máximos (ou de ponta).

Definem-se, assim, os chamados caudais de ponta, como sendo o produto do *caudal médio anual* pelos *factores de ponta*. Se for, por um lado:

- Q_{maM} - o caudal médio anual, expresso em $m^3/mês$
- Q_{maD} - o caudal médio anual, expresso em m^3/dia
- Q_{mai} - o caudal médio anual, expresso em L/s

e, por outro:

- Q_{mM} - o caudal médio do mês de maior consumo do ano, expresso em $m^3/mês$
- Q_{mD} - o caudal médio do dia de maior consumo do ano, expresso em m^3/dia
- Q_i - o caudal máximo instantâneo, expresso em L/s

os factores de ponta são definidos como a seguir se indica:

➤ **Factor de ponta mensal**

$$f_m = \frac{Q_{mM}}{Q_{maM}}$$

Em sistemas de abastecimento de água, este factor de ponta é, aproximadamente, 1,3.

➤ **Factor de ponta diário**

$$f_d = \frac{Q_{mD}}{Q_{maD}} = 1,5$$

Em sistemas de abastecimento de água, este factor de ponta é, aproximadamente, 1,5.



➤ **Factor de ponta instantâneo**

$$f_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{mai}}}$$

O factor de ponta (f_i) deve ser determinado, preferencialmente, com base na análise de registos de consumos. No entanto e na ausência de elementos que permitam a sua determinação mais fundamentada, o factor de ponta pode ser estimado com base na seguinte expressão (Decreto Regulamentar nº 23/95, artigo 19.º):

$$f_i = 2 + 70 / \sqrt{P}$$

em que P é a população a servir.

Como se referiu, os sistemas de abastecimento de água são constituídos por vários órgãos a saber: obras de captação, estações elevatórias e sobressororas, condutas adutoras, aquedutos e canais, estações de tratamento de água, reservatórios e redes de distribuição.

Dada a localização relativa destes diversos órgãos, indicam-se, apenas como regras de orientação geral, os caudais de dimensionamento ou de projecto a considerar em cada caso:

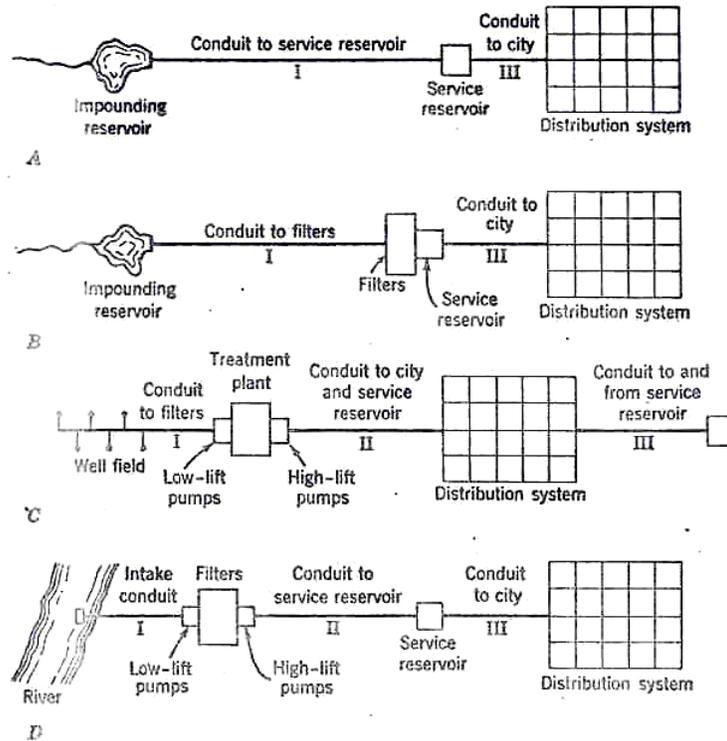
- obras de captação: Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal;
- condutas adutoras a montante de reservatórios: Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal;
- condutas adutoras a jusante de um reservatório que alimenta uma rede de distribuição: Q_i
- estações elevatórias em sistemas de adução: genericamente, Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal;
- estações de tratamento de água: Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou, ainda, Q_i se a localização do tratamento no sistema, for, por exemplo, entre o reservatório de armazenamento de água e a rede de distribuição (caso da desinfecção);



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA E DOS RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

- redes de distribuição: Q_i
- adutoras - distribuidoras - Q_{mD} ou Q_i

Para uma melhor compreensão do que foi referido anteriormente, apresentam-se, a seguir, quatro exemplos típicos de sistemas de abastecimento de água, os quais mostram um conjunto de situações que, na prática, podem ocorrer.



- captação numa linha de água (*river*) ou em poços (*well field*): Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal
- condutas I e II: Q_{mM} ou Q_{mD} (ver *Documento Sistemas de Adução*)
- conduta III: Q_i
- estações de elevatórias (*low-lift and high-lift pumps*): Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal
- estações de tratamento de água (*treatment plant and filters*): Q_{mM} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal, ou Q_{mD} , se a conduta adutora for dimensionada para este caudal
- rede de distribuição: Q_i

Figura 4 – Caudais de dimensionamento para os diferentes órgãos de um sistema de abastecimento de água em quatro situações típicas