

Alguns Aspectos Fundamentais Sobre Armazenamento e Distribuição de Água (*)

Eng.º EDUARDO RIOMEY YASSUDA

Professor Catedrático de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotos da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

1 — Introdução

No presente trabalho, vamos apresentar comentários sobre alguns dos aspectos fundamentais que governam o planejamento de sistemas de distribuição de água. Esses comentários serão baseados em nosso conhecimento sobre características de cidades brasileiras, principalmente do Estado de São Paulo. Acreditamos que tais características sejam semelhantes às de muitas outras comunidades latino-americanas.

2 — Necessidade de adequação às condições locais

Dentre os requisitos exigidos de um sistema de distribuição de água, destacam-se: a capacidade de atender as demandas de água e a garantia de funcionamento contínuo.

As demandas resultam dos diferentes usos da água na comunidade. A garantia de funcionamento contínuo está associada aos padrões de segurança adotados no planejamento e administração do sistema.

Vários fatores, dentre os que influem no estabelecimento da capacidade e segurança do serviço de água, independem do arbítrio dos órgãos de planejamento e administração, pois são intrínsecos às necessidades mínimas da comunidade. Outros fatores, porém, podem ser adap-

tados dentro de certos limites, através de um critério de adequabilidade que tome em conta as condições econômicas, sociais, sanitárias e financeiras presentes.

Em países que estão a atingir um alto estágio de desenvolvimento material, caracterizado pelo consumo em massa, é possível admitir-se que o abastecimento de água seja equiparado a uma verdadeira indústria, fundamentalmente governada por interesses de ordem econômica, tais como o interesse em aumentar o volume de vendas a cada consumidor.

Em numerosas comunidades brasileiras contemporâneas, verifica-se que o planejamento e a administração de abastecimentos de água têm sido mais influenciados por fatores de ordem social e financeira do que econômica. Isto é, a curto prazo, tem havido necessidade de ponderar muito sobre os aspectos adicionais enumerados a seguir.

1.º) Aumentos do volume e da qualidade da produção exigem maiores investimentos de capitais.

2.º) Tem havido grande dificuldade de obtenção de capitais para investimento em abastecimento público de água.

3.º) Tem havido necessidade urgente de construir numerosas obras de abastecimento, para atender muitos milhões de pessoas que impacientemente esperam pela água potável, a qual até agora não lhes é fornecida nem mesmo para os requisitos mínimos de saúde.

(*) Trabalho apresentado ao VIII Congresso da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária, Washington, junho de 1962. (Trabalho Premiado).

4.º) Entre os extremos do tudo e do nada é que os planejadores e administradores têm que encontrar a solução possível e razoável.

5.º) No estabelecimento da solução possível e razoável, deve-se ter em mente que os fornecimentos de água, para os diferentes usos previsíveis, constituem objetivos com diferentes significados sanitários e econômicos.

6.º) As diferentes condições existentes em cidades brasileiras, aconselham o estudo de diferentes classes de projeto, a serem definidas e especificadas em norma.

7.º) O desenvolvimento esperado em cada comunidade, aconselha a adoção de critérios de projeto que permitam o sistema satisfazer economicamente as condições mínimas de sua classe inicial, e ainda possibilitem sua fácil adaptação a classes superiores mediante ampliações bem planejadas.

3 -- O problema da proteção contra incêndio

A decisão sobre a capacidade e segurança com que um sistema de distribuição de água deve atender aos usos para incêndio, constitui um dos problemas que requerem especial critério de planejamento. É um problema que exige conhecimentos fundamentais sobre as condições prevalentes na comunidade.

O incêndio, pelos efeitos que produz, apresenta dois aspectos básicos:

1.º) o aspecto sanitário e social, representado pelo número de mortos e feridos e pelo estado de intranquilidade diante da provável repetição do sinistro;

2.º) o aspecto econômico, representado pela destruição ou danificação de bens materiais.

Com respeito à forma de ocorrência em uma comunidade, o incêndio pode se limitar a casos isolados, abrangendo um ou talvez dois edifícios, ou somente um compartimento isolado de um edifício. Em condições favoráveis à transmissão do fogo, porém, o incêndio pode se propagar sobre a cidade, constituindo "surtos" ("outbreaks") ou conflagrações devastadoras.

No que se refere à causa de sua ocorrência, o incêndio pode ser atribuído a uma deficiência no controle dos fatores ambientes ("environmental factors") que são capazes de dar-lhe nascimento e transmiti-lo.

As considerações acima, permitem a apresentação dos comentários enumerados a seguir.

1.º) Na conjuntura de onde se origina o problema do incêndio, a água do sistema público não figura como causa e nem como fator de transmissão. É um elemento que só tem entrado em cena quando o mal já se acha implantado. É um meio de combate, uma medida "curativa", destinada a debelar um estado calamitoso decorrente de fatores ambientes que não foram antecipadamente controlados.

2.º) A necessidade de considerar, a água para incêndio, como sendo um uso fundamental, vinculado a pesadas exigências hidráulicas (e financeiras), é bastante justificável para as comunidades que a experiência evidenciou serem vulneráveis a conflagrações ou serem suscetíveis a muitos casos isolados de grandes efeitos danosos. Nessas comunidades, é também compreensível a importância do seguro contra incêndio ("fire insurance"), pois este, em seus altos propósitos, pode ser interpretado como sendo uma forma de assistência social às vítimas.

3.º) Quatrocentos anos de história, envolvendo quinhentas cidades do Estado de São Paulo, evidenciam que é possível a todo um Estado sobreviver e evoluir com dinamismo, sem sofrer nenhum caso de as chamadas temíveis conflagrações, embora seus sistemas de distribuição de água não tenham sido dimensionados para combate ao fogo. E sem que os seus cidadãos, desde as camadas mais cultas até as menos cultas, tenham um senso comum compelindo-os a resguardar o próprio lar mediante o inevitável apelo ao seguro ("insurance"). Sugestivos, a esse respeito, são os dados do Departamento de Estatística do Estado de São Paulo (1960), pelos quais se vê que o Estado, em 1958, teve um índice de 10 incêndios por ano para cada 100.000 habitantes. Por outro lado, considerando apenas os incêndios em moradias, verifica-se que na área da cidade de São Paulo (população de 3,5 milhões de habitantes) houve a incidência de um incêndio por ano para cada 3.500 residências; nas demais cidades do Estado, a incidência média foi de um incêndio por ano para cada 13.000 residências.

4.º) O controle de incêndios, como problema de comunidade, deve ser baseado em medidas preventivas. Estas compreendem, fundamentalmente, a observância de boas normas de planejamento de cidades, boas normas de construção e de ocupação de edifícios, assim como a observância de boas normas de higiene e segurança dos locais de trabalho. O sistema público de distribuição de água deve ser interpretado como um dispositivo valioso, mas complementar, do qual devem ser utilizadas todas as vantagens que sejam razoavelmente possíveis. Este particular, diante das características do problema brasileiro de incêndios, vem reforçar a recomendação para que as cidades nacionais procurem obedecer a um zoneamento urbano, pois, nestas condições, edifícios com certas ocupações comerciais ou industriais, em número relativamente pequeno mas economicamente importantes, estarão em melhores condições para suportar ou justificar o custo de um sistema de água local, dimensionado por fator oneroso ligado à conveniência econômica. De acordo com sugestão já expressa pelo autor (1962), o valor da demanda de água para combate a incêndio será melhor formulado em função de características individuais de cada edifício ou do edifício considerado como típico da classe. Estimativas da vazão e do volume de armazenamento para incêndio, simplesmente em função da população ou tamanho da cidade, são mais aplicáveis às comunidades que possam ser envolvidas por conflagrações, o que geralmente não é o caso das cidades brasileiras.

4 — Estimativas de vazões máximas em canalizações de distribuição de água

A capacidade de uma seção de canalização genérica, em um sistema público de distribuição, tem sido estabelecida por meio da demanda na hora de maior consumo do dia de maior consumo. Esta demanda tem sido calculada em função das seguintes grandezas: número de habitantes abastecidos (H), consumo "per capita" (v) e coeficientes para o dia (k_1) e hora (k_2) de máximo consumo. Ou seja, através da fórmula:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H$$

Em estudo recente, o autor (1961) procurou analisar certos aspectos fun-

damentais concernentes à estimativa dessa demanda, conforme o breve resumo apresentado a seguir.

1.º) — Os coeficientes k_1 e k_2 são, na realidade, índices de variação sazonal (conforme a terminologia de Yule e Kendall, 1958). Portanto, para se estimar a demanda máxima instantânea em uma seção genérica, quando os prédios são desprovidos de reservatórios próprios, é preciso multiplicar a vazão máxima horária por um terceiro coeficiente, designado por k_3 e denominado coeficiente de variação casual ("random variation"). Este coeficiente leva em conta a distribuição de probabilidades de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, durante a assim chamada hora de maior consumo. O valor de k_3 pode ser expresso como função dos valores de k_1 e k_2 , do valor do consumo "per capita", do valor da vazão de operação dos aparelhos sanitários e do número de habitantes abastecidos. Este último fator atua de modo inverso, de modo que, nas canalizações tronco a influência de k_3 é desprezível; nas linhas secundárias, o seu valor pode ser bastante significativo, conforme a pressão, diâmetro mínimo e critério de dimensionamento adotados para a rede, e conforme os tipos de aparelhos sanitários ("water fixtures") usados nos sistemas prediais ("plumbing systems").

2.º) — A estimativa da vazão máxima em uma canalização pública e a estimativa da vazão máxima em um sistema predial ("plumbing system") constituem, basicamente, um único problema.

3.º) — Um estudo fundamental, sobre a estimativa das vazões máximas em sistemas prediais, foi feito por Hunter (1940), através da equação: $Q = m \cdot q$, onde Q é a vazão máxima provável demandada por n aparelhos sanitários ("plumbing fixtures"), m é o número máximo provável de aparelhos sanitários em uso simultâneo e q é a vazão média de operação de cada aparelho. Para determinar m , Hunter mostrou que a probabilidade de uso simultâneo obedece a uma distribuição binomial ("binomial distribution"). Para calcular esta binomial, houve necessidade de conhecer um parâmetro p , isto é, a probabilidade de um aparelho estar em uso em um instante qualquer. O valor de p foi introduzido empiricamente, através do conceito de máximo uso intensivo; assim, para

uma válvula de descarga de bacia sanitária ("flush valve for water closet"), foi adotado $p = 9/300$, sob a hipótese que, durante o período de uso intensivo ("congested use"), a máxima utilização do aparelho seja de uma vez em cada 5 minutos (300 segundos), cada descarga tomando um tempo de 9 segundos, em média.

4.º — O autor (1961), estudando a questão, considerou os seguintes elementos básicos adicionais:

a) No estudo do sistema público de distribuição de água, o período de uso intensivo dos aparelhos sanitários equivale ao intervalo de tempo chamado de hora de máximo consumo do dia de máximo. O conhecimento deste fato, juntamente com a lei dos grandes números, permite dispensar a introdução empírica do valor de p .

b) Devido aos valores presentes, a distribuição binomial pode ser analisada através de uma distribuição de Poisson ("Poisson distribution") contendo a mesma média ("mean"), igual a $n.p$. Portanto, no período de uso intensivo, a vazão média demandada pelos n aparelhos é igual a $n.p.q$. Dêsse modo, resulta:

$$np.q + G_v.v.H = k_1.k_2.v.H$$

onde $G_v.v.H$ representa as vazões contínuas, independentes de variação casual, tais como os vazamentos causadores de perdas de água ("water losses"); como $v.H$ é a vazão média anual, G_v representa a fração da vazão média anual que é demandada dêsse modo.

c) Através da distribuição de Poisson, pode-se obter uma tabela ou gráfico relacionando a vazão máxima provável, Q , ao número de habitantes, H , através das seguintes relações:

$$Q = m.q + G_v.v.H$$

$$H = (n.p) \frac{q}{(k_1.k_2 - G_v)v}$$

onde os valores de k_1 , k_2 , v , G_v e q são admitidos conhecidos; os valores de $(n.p)$ são fornecidos diretamente pela Tabela de Molina (1942), desde que seja fixada previamente uma série de valores sucessivos para m .

d) Construindo-se uma tabela ou curva para a função (H, Q) , referente a

particulares valores dos parâmetros intervenientes, essa mesma tabela ou curva poderá fornecer os valores (H', Q') relativos a sistemas com outras características, mediante um fator de equivalência entre o número de habitantes.

e) Para $n.p$ suficientemente grande (superior a 5, segundo Hoel, 1947), a binomial pode ser assimilada a uma distribuição normal ("normal distribution"), com média ("mean") e variância ("variance") iguais a $n.p$, dentro da aproximação à Poisson. Nestas condições, a relação entre Q e H pode ser escrita sob a seguinte forma:

$$Q = k_1.k_2.v.H + c \sqrt{(k_1.k_2 - G_v)v.q} \sqrt{H}$$

onde c exprime, em termos de desvio padrão ("standard deviation"), na curva normal, o desvio de m em relação à média. De uma tabela da área da curva normal, resulta que, para o padrão de segurança adotado por Hunter, $c = 2.33$.

Dividindo a vazão máxima instantânea, Q , pela vazão máxima horária, igual a $k_1.k_2.v.H$, resulta:

$$k_3 = 1 + \frac{c \sqrt{(k_1.k_2 - G_v)q}}{k_1.k_2 \sqrt{v}} \frac{1}{\sqrt{H}}$$

onde se vê que k_3 tende a 1 com o crescer de H .

Observação: Em anexo, estamos apresentando um gráfico de (H, Q) , para

$$k_1 = k_2 = 1.50; v = \frac{200}{86.400} \text{ litros/hab.}$$

seg. (53 gpcd); $G_v = 0$; $q = 0.30$ litro/seg. (4.8 gpm) no caso (I) e $q = 1.90$ litros/seg. (30 gpm) no caso (II); $b\%$ representa a porcentagem da vazão média solicitada por aparelhos com $q = 1.90$ litro/seg. em diferentes casos e $100 - b\%$ corresponde aos aparelhos com $q = 0.30$ litros/seg.; M_{1x} é a vazão média na hora de máximo consumo, igual a $k_1.k_2.v.H$.

5 — Um problema sôbre reservatórios

Nas cidades do Estado de São Paulo, os reservatórios do sistema público têm sido dimensionados principalmente para atender às variações horárias do consumo. Sôbre o volume assim calculado, tem sido acrescentado um valor, geralmente pequeno, destinado a constituir uma reserva para situações de emergên-

cia, inclusive incêndios. Usualmente, o volume total adotado para os reservatórios é igual a 1/3 do consumo máximo diário, ou pouco mais.

Entretanto, considerado o sistema de distribuição de água como um todo, as reservas realmente disponíveis são bem superiores ao volume acima mencionado, chegando a ultrapassar o valor do consumo de um dia de máximo. Isto porque existe a prática generalizada de se instalar um reservatório em cada edifício, inclusive nas casas residenciais. O uso generalizado de reservatórios domiciliários não constitui peculiaridade de São Paulo, pois essa prática é encontrada em quase todas as cidades brasileiras e, também, em cidades de outros países. Por exemplo, Mistrangelo (1945), Escritt (1953) e Gevaudan e Gay (1957) mencionam a ocorrência desse fato em cidades da Itália, Inglaterra e França, respectivamente.

Nos grandes edifícios, destinados a ocupação industrial, comercial, serviço público ou habitação coletiva, não há dúvida sobre a conveniência da instalação de reservatórios próprios. Inclusive porque oferecem uma reserva especialmente destinada a suprir o sistema predial de combate a incêndio.

Em casas residenciais, entretanto, a existência de reservatórios individuais (denominados reservatórios domiciliários) está ligada a um problema complexo, cujos aspectos fundamentais tentaremos sintetizar a seguir.

1.º — Os reservatórios domiciliários possibilitam uma regularização das vazões demandadas do sistema público. Portanto, permitem dimensionamento mais econômico para o sistema público de distribuição.

2.º — A diminuição do custo de construção do sistema público de distribuição constitui um atrativo para as autoridades públicas, pois diminui o montante do financiamento necessário e permite a adoção de tarifas de água mais baixas.

3.º — Os reservatórios domiciliários acarretam um aumento no custo de construção do sistema de água predial: aquisição e assentamento do reservatório, dos órgãos acessórios inclusive válvula de flutuador, das canalizações de entrada, saída e extravazamento. Por exemplo, a instalação de um reservatório de cimento-amianto ("asbestos-ce-

ment"), com capacidade de 1.000 litros, em uma residência para 5 pessoas em média, representa uma despesa, em cruzeiros, que atualmente pode ser considerada como equivalente a 10 dólares "per capita".

4.º — Esse aumento de custo tem importância significativa para a comunidade, quando se examina o problema econômico do abastecimento de água em seu todo. De fato, em cidades brasileiras, o custo total de construção de sistemas públicos de abastecimento, desde a tomada de água bruta até as canalizações públicas distribuidoras (inclusive), tem representado cerca de: 10 a 30 dólares "per capita".

5.º — A instalação generalizada de reservatórios domiciliários representa, para a cidade, um oneroso investimento de capital. Se esse mesmo capital fosse aplicado no sistema público de distribuição de água, seria possível a execução de projetos de padrão muito superior. Para analisar um exemplo típico, o autor considerou a distribuição de custos de um projeto completo, destinado a abastecer uma cidade de 15.000 habitantes; nesse projeto, os reservatórios públicos totalizavam um volume igual a 1/3 do consumo máximo diário e as canalizações distribuidoras eram de 50 mm (2") em sua maioria. Foram obtidos os seguintes valores "per capita" (expressos também pelo equivalente em dólares, para efeito comparativo):

Custo de construção de todo o sistema público, conforme o projeto	15.00 dólares
Aumento de custo para elevar o diâmetro mínimo das canalizações públicas de 50 mm (2") para 100 mm (4")	2.30 dólares
Aumento de custo para triplicar os reservatórios públicos	3.00 dólares

É interessante confrontar esses números com o custo "per capita" do reservatório domiciliário.

6.º — A construção de sistemas públicos de alto padrão não significa automaticamente que os reservatórios domiciliários serão definitivamente dispensa-

dos. Um outro fator interveniente, provavelmente o mais importante, é a existência de condições econômicas, sociais e políticas na comunidade, capazes de permitir a organização e permanência de um serviço administrativo adequado. Em especial, é preciso que os problemas de operação, manutenção e tarifas possam ser confiados a pessoal suficientemente qualificado, e é preciso que esse pessoal possa ter sempre à mão os materiais e equipamentos necessários ao seu trabalho.

7.º) — A impossibilidade de fornecer água continuamente aos consumidores, com pressão adequada, faz com que as autoridades públicas exijam a instalação dos reservatórios domiciliários. A sensação de insegurança, diante do desagradável problema da falta de água, faz com que os consumidores considerem necessário manter em suas casas uma reserva privativa.

8.º) — Nos sistemas de distribuição de água em que ocorrem faltas de água periódicas, os reservatórios domiciliários oferecem dois aspectos sanitários favoráveis. Em primeiro lugar, porque constituem um desconector ("disjointer") para os aparelhos sanitários abastecidos, de modo que eliminam o problema das sérias contaminações do sistema público através da "back-siphonage" (retorno por sucção). Em segundo lugar, porque as canalizações alimentadoras dos reservatórios domiciliários constituem um conjunto numeroso de ventiladores potenciais para a canalização pública, de modo que diminuem o risco de contaminações causadas por pressão negativa.

9.º) — Por outro lado, o reservatório domiciliário representa, por si mesmo, uma inconveniência sanitária para o seu proprietário, desde que não seja devidamente instalado e conservado, pois torna a água vulnerável à poluição. Esse inconveniente existe, principalmente nas moradias de baixo padrão. A tendência de se usar tanques pré-fabricados de cimento-amianto ("asbestos-cement") ou concreto armado, com tampas adequadas, constitui melhoria sensível; uma outra prática bastante generalizada, favorável ao aspecto sanitário, consiste em abastecer o filtro doméstico e uma torneira da cozinha por meio de uma canalização derivada diretamente do alimentador predial, isto é, por meio de água que não passa pelo reservatório.

10.º) — Nas comunidades desprovidas de condições para instalação, operação e manutenção de serviço medido, o reservatório domiciliário tem possibilitado o controle do consumo de água, por meio de uma peça simples, de baixo custo, denominada "pêna de água" (na expressiva terminologia italiana: "lente idrométrica"). A pêna de água é um orifício de pequena abertura, calibrado em função da pressão local, de modo a limitar o volume de água que diariamente pode entrar no reservatório.

11.º) — A quebra de pressão, que resulta da descarga livre da água no reservatório, representa outro fator para controle do consumo, devido à diminuição e regularização das pressões nos aparelhos sanitários.

12.º) — Em serviço com hidrômetros, o reservatório domiciliário pode aumentar as perdas de medição, devido ao amortecimento de demandas de água a valores muito baixos.

13.º) — Os reservatórios domiciliários possibilitam o uso generalizado de válvulas de descarga ("flush valves") nas casas residenciais, como é o caso de São Paulo. A alta demanda instantânea, que esses aparelhos exigem, não é transmitida ao sistema público de distribuição.

Referências:

- 1 — Escritt, L. B.: Building Sanitation. London, Macdonald & Evans, 1953.
- 2 — Estado de São Paulo. Depart. de Estatística do Estado: Anuário — 1958. São Paulo, Serviço Gráfico do D.E.E., 1960.
- 3 — Gevaudan, P. et Gay, R.: Enquête sur un moyen archaïque de distribution d'eau de consommation. Revue d'Hygiène et de Médecine Sociale, Paris, Mars-Avril, 1957.
- 4 — Hoel, P. G.: Introduction to mathematical statistics. New York, John Wiley & Sons, 1947.
- 5 — Hunter, R. B.: Methods of estimating loads in plumbing systems. U. S. Dept. of Commerce. National Bureau of Standards. Washington, D. C., 1940.
- 6 — Mistrangelo, C.: Provvista e distribuzione di acqua potabile. 4.º Ed. Milano, E. Ulrico Hoepli, 1945.

- 7 — Molina, E. C.: Poisson's exponential binomial limit. New York, D. van Nostrand Co., 1942.
- 8 — Yassuda, E. R.: Contribuição para o estudo das vazões de distribuição em redes de água potável. Rev. do Depart. de Águas e Esgotos, São Paulo, setembro e dezembro 1961.

- 9 — Yassuda, E. R.: Estudo sobre a utilização da rede pública de água na proteção contra incêndio. Aplicação a São Paulo. Rev. do Depart. de Águas e Esgotos, São Paulo, Março 1962.
- 10 — Yule, G. U. and Kendall, M. G.: An introduction to the theory of Statistics, 14.º Ed. London, Charles Griffin & Co. 1958.

