

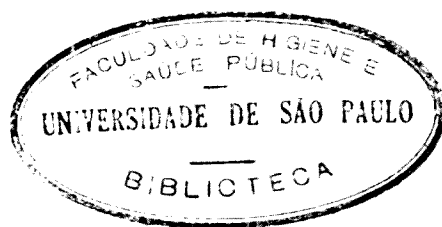
628.1

Y26c

41

EDUARDO RIOMEY YASSUDA

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DAS VAZÕES DE  
DISTRIBUIÇÃO EM RÊDES DE ÁGUA POTÁVEL**



São Paulo

1960

Tese apresentada à Comissão Julgadora do concurso para provimento do cargo de Professor Catedrático de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotos, da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

## ÍNDICE

Pág.

## I- INTRODUÇÃO

1- Natureza do problema .....	1
2- Objetivo do trabalho .....	14
3- Agradecimentos .....	16

## II- CRITÉRIOS DE PROJETO

1- Sôbre os consumos a serem atendidos.....	18
2- Sôbre a segurança no fornecimento .....	61
3- Sôbre o regime de fornecimento .....	70
4- Apêndice .....	73

III- CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM  
REGIME DE FORNECIMENTO SEM REGULARIZA-  
ÇÃO

1- Conceituação do problema .....	87
2- Seqüência de análise do problema .....	91
3- Vazões de distribuição em rêsdes com pe- ças de utilização equivalentes .....	92
4- Diferenciação das rêsdes, segundo os ti- pos de peças de utilização .....	113
5- Vazões de distribuição em rêsdes com pe- ças de tipos diferentes, cada tipo sendo de categoria uniforme .....	118
6- Vazões de distribuição em rêsdes com pe- ças de categorias heterogêneas .....	124
7- Análise das vazões de distribuição por aproximação à distribuição de Poisson ..	134

	Pág.
8- Curvas (n,m) em rêdes com peças de tipo uniforme .....	147
9- Curvas (H,Q) e (R,Q) em rêdes com peças de tipo uniforme .....	155
10- Curvas (H, Q) e (R,Q) em rêdes com peças de tipo heterogêneo .....	175
11- Introdução dos fatores de perda no cálculo das vazões de distribuição ..	181
IV- CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM REGIME DE FORNECIMENTO COM REGULARIZAÇÃO.	
1- Conceituação do problema .....	198
2- Condições de regularização e vazões de distribuição correspondentes .....	199
V- CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM REGIME DE FORNECIMENTO MISTO.	
1- Conceituação do problema .....	215
2- Hipóteses de cálculo .....	216
3- Expressão das vazões de distribuição.	217
4- Determinação das vazões de distribuição .....	217
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	227
SÍMBOLOS USADOS .....	235
ÍNDICE AUXILIAR SOBRE O CAPÍTULO III.	241

## I - INTRODUÇÃO

\*

### 1 - Natureza do problema

No decurso de nossa experiência em planejamento de rêdes de distribuição de água para cidades, sentimos, freqüentemente, o desejo de examinar os fundamentos que estariam a suportar uma série de critérios de projeto, em uso na prática. Dentre êstes, despertou-nos atenção especial o critério para fixação das vazões de distribuição. Referimo-nos às vazões a serem fornecidas pela rêde aos consumidores, em face do requisito básico, segundo o qual, o sistema de abastecimento deve, continuamente, proporcionar quantidade suficiente de água aos mesmos.

Várias foram as razões que nos indicaram a conveniência de uma análise circunstanciada sôbre as vazões de distribuição.

Desde longa data, tem sido adotado, com ampla generalidade, o critério de cálculo, pelo qual, as referidas vazões resultam da estimativa do número de habitantes e da estimativa dos parâmetros, peculiares a cada comunidade, denominados, respectivamente, quota diária por

habitante, coeficiente para o dia de maior consumo e coeficiente para a hora de maior consumo do dia de maior consumo. Considerando, outrossim, a distribuição populacional ao longo das canalizações ou sobre as áreas a serem abastecidas, o citado critério apresenta as vazões em aprêço na forma prática de os chamados coeficientes de distribuição de água em marcha. Estes, nas unidades usuais entre nós, expressos em litros por segundo, por metro de canalização distribuidora (l/s.m) ou em litros por segundo, por hectare de área abastecida (l/s.ha). Em nosso Estado, exceção feita para áreas muito industrializadas ou zonas centrais de grandes centros urbanos, a estimativa daqueles parâmetros intervenientes, diante das densidades demográficas previsíveis, tem conduzido a valores do coeficiente de distribuição de água em marcha compreendidos entre 0,001 5 e 0,005 0 l/s.m. O valor mais freqüente é da ordem de 0,002 5 a 0,003 0 l/s.m. Coeficientes, dentro dessa magnitude, têm sido adotados também em outras regiões do país, particularmente no Rio Grande do Sul, onde o coeficiente de distribuição em marcha, igual a 0,003 0 l/s.m, parece representar um dado médio, conforme depreendemos da leitura da obra de A. Siqueira

(1, p. 201) (\*).

Temos tomado conhecimento de muitos casos em que o comportamento da rêde, na prática, não corresponde ao esperado no cálculo. Rêdes, recentemente inauguradas, precisam ser remediadas com instalação generalizada de reservatórios domiciliários e manobras de registros, para poderem suprir áreas situadas em cotas mais elevadas. Passam a funcionar sob o condenável regime intermitente. Apesar de terem sido dimensionadas para atender a demandas que só seriam atingidas após vinte ou trinta anos. É um fato, a nos sugerir indagação se tal impropriedade hidráulica do sistema poderia ser atribuída exclusivamente à falta de contrôle dos desperdícios e perdas.

Nos últimos quatro anos, foi contratada a elaboração dos projetos de rêdes destinadas ao abastecimento de bairros periféricos da Capital paulista, abrangendo milhares de quilôme

(\*) Usaremos um número grifado, entre parêntesis, denotando o nº de ordem da Ref.Bibli.; indicaremos, quando fôr o caso, a página respectiva, assinalando-a com a letra p.

tros de canalização. Embora, na grande maioria das ruas, o consumo previsto fôsse de natureza essencialmente residencial, os cálculos se basearam em coeficientes de distribuição em marcha compreendidos entre 0,008 0 e 0,012 0 l/s.m, por preconização da entidade oficial responsável. Esta, conforme tivemos a oportunidade de ouvir, julgou conveniente adotar valores tão mais elevados que os normalmente em uso, porque, segundo suas experiências anteriores, rêdes, dimensionadas até mesmo com o coeficiente 0,005 0 l/s.m, vinham se evidenciando inadequadas para funcionamento em regime contínuo. Resultaram, como era de se esperar, diâmetros bem superiores aos habituais. Esta desproporção mostrou-se particularmente sensível nas tubulações tronco, as quais, nos diversos bairros, fàcilmente atingiram bitolas próximas a um metro ou mesmo superiores. Ultimamente, tomamos conhecimento que, na fase de construção das obras projetadas, tem havido uma tendência para redução de diâmetros das canalizações tronco, por fôrça de um sentimento, segundo o qual, as mesmas estariam afetadas por vazões de dimensionamento excessivas. Evidentemente, uma redução assim procedida, constituiria abominável arbitrariedade em relação à técnica de projeto, admitida a hipótese que esta tivesse se norteado por critério correto. Mas,



forçoso é reconhecer, a hipótese em questão está a exigir estudos ulteriores, não só devido às incertezas que a envolvem, como ainda, devido à magnitude de suas implicações sanitárias, econômicas e financeiras.

Temos acompanhado a suposição que, projetando-se uma rede por meio de método baseado no coeficiente de distribuição em marcha, essa rede, por ter levado em conta os coeficientes do dia e da hora de maior consumo, estará habilitada a funcionar em regime contínuo, tornando normalmente dispensável a instalação dos reservatórios domiciliários, estes sendo requeridos apenas nos prédios de vários pavimentos ou de excepcional consumo. Assim se explica a aprovação corrente, por órgãos oficiais do Estado, de projetos calcados em coeficientes de distribuição em marcha compreendidos no intervalo usual anteriormente mencionado, aprovação essa, nos seus propósitos, consentânea com a legislação estadual específica sobre o assunto - a Lei nº 1 561-A, de 29 de dezembro de 1 951, que dispõe sobre a aprovação da Codificação das Normas Sanitárias para Obras e Serviços e dá outras providências (2). Por uma motivação sanitária procurando impedir o uso de reservatórios domiciliários e, ao mesmo tempo, por um

reconhecimento da situação de fato evidenciada pela experiência, essa Lei estabelece, embora com certo paradoxo, os preceitos transcritos a seguir.

"Artigo 311- Os prédios deverão ser abastecidos diretamente da r<ê>de publica, sendo ve dado o uso de reservatorios domiciliários .

Parágrafo unico - É obrigatorio o uso de reservatorios domiciliários:

I- enquanto o abastecimento publico não puder ser feito de modo a assegurar absoluta continuidade no fornecimento de água;

II- quando a carga disponível na r<ê>de distribuidora publica não for suficiente para que a água atinja, na hora de maior consumo, os pontos de tomada ou aparelhos sanitários situados no mais elevado pavimento do predio".

Notemos que, pelo metodo aceito, baseado no coeficiente de distribuiço em marcha, ao valor frequente, igual a 0,003 0 l/s.m, corresponde uma vazão de distribuiço igual a 0,30 l/s. para cada 100 metros de r<ê>de. E esta extensão abrange, em media, cerca de 10 predios compor-

tando um total de, aproximadamente, 50 habitantes. Por outro lado, se formos averiguar, também em órgãos oficiais do Estado, a adequação de um projeto de instalação predial, em um edifício de habitação coletiva, verificaremos que, para o atendimento de 10 apartamentos com capacidade total de cerca de 50 pessoas, a coluna de distribuição de água deverá ter capacidade para fornecer uma vazão da ordem de 2,00 a 6,00 litros por segundo, estes dois valores referindo-se, respectivamente, ao caso de as bacias sanitárias serem providas de caixa de descarga ou de válvula de descarga. Divisamos, assim, característica de aparelhos sanitários influenciando no dimensionamento da coluna de distribuição. E, esta, sendo condicionada a vazões muito superiores à vazão de distribuição preconizada para a canalização pública, canalização essa abastecedora do mesmo número de residências e de habitantes. Obviamente, impõe-se concluir serem heterogêneos entre si os dois critérios de projeto em uso, eis que a disparidade entre os valores das vazões de distribuição respectivas não pode ser levada à conta da posição vertical da coluna, em face da posição horizontal da canalização pública. E, muito menos, por estar a primeira, contida em um edifício e, a segunda, enterrada na rua. Há uma di

ferença notória, é bem de vêr, no que tange à incidência de perdas, por fugas de água, que são mais prováveis ao longo da canalização pública; trata-se, porém, de uma razão a mais para se aceitar a veracidade do concluído acima.

Em uma publicação do The Institution of Water Engineers, da Inglaterra (3, p. 40-42), consideramos significativas certas afirmações expedidas no capítulo segundo (Fundamental Considerations in Waterworks Planning), segunda parte (Data on which Planning Should Be Based). Após considerações sobre a natureza e a importância do coeficiente que, multiplicado pela demanda média anual, fornece a demanda máxima instantânea ("peak demand"), encontram-se, no texto, comentários sobre o seu valor, bem como a informação, segundo a qual, esse coeficiente é usualmente adotado como igual a 2,50. Com a ressalva, porém, que este valor adotado,

"may represent a reasonable compromise between the need, on the one hand, to maintain the pressures in the mains as long as possible throughout the year, and for economy on the other hand; but this is a field

in which research could profitably be undertaken".(\*)

Em pesquisa através da literatura técnica norteamericana, notamos uma relativa pobreza de investigações sôbre o assunto, fato singular, talvez explicável pelo estado de dependência em que, na matéria, os engenheiros sanitistas daquele país haviam se colocado, até recentemente, diante dos engenheiros das organizações de seguros contra incêndios. A respeito, podemos nos reportar a expressivas afirmações de D.R. Taylor (4, p.R-136), apresentadas abaixo.

"Técnicas e métodos de projeto estão mais ou menos padronizados e geralmente aceitos, nos casos em que é requerida a proteção contra incêndios. Frequentemente, porém, devido a numerosas razões bem conhecidas da profissão, apenas serviço doméstico é

---

(\*) É oportuno esclarecer que o arrazoado acima transcrito, embora enquadrado num estudo sôbre "rural water supply", na verdade tem um sentido de generalidade, aplicando-se também às rêdes urbanas. Podemos nos certificar dêste fato, lendo o Item 3, Parte II, Capítulo 14, da mesma publicação.

exigido por um longo período ou, pelo menos, por diversos anos, e um pequeno prolongamento de rêde é assim decidido.

Para o projeto de uma extensão de rêde destinada somente a abastecimento doméstico, deve ser conhecida a máxima demanda doméstica. Durante a última década, foi dada muita atenção a êste assunto. Empregando-se o "Meter Master", muitas medições foram e estão ainda sendo feitas, em numerosos setores, para determinar a máxima demanda doméstica, e os resultados variam tão amplamente que é difícil formar-se uma conclusão. A diferença de condições climáticas, em vários setores, é claro que afeta os resultados, mas, uma variância considerável tem sido encontrada também em um mesmo setor, em diversas partes do país". (\*)

As notícias sôbre ocorrência de incêndio, entre nós, em regra vêm acompanhadas da informação que houve deficiência de água na rêde pública acarretando dificuldades ao trabalho de combate ao fogo. É um fato que não nos

(\*) Tradução e grifos nossos.

surpreende, quando consideramos o critério que tem presidido a planificação de quase todos os nossos sistemas urbanos de distribuição de água. Com efeito, diante do requisito básico da rede ser capaz de fornecer quantidade suficiente de água aos usuários, temos levado em conta somente as demandas normais de água. Demandas essas constituídas por uma parcela predominante, destinada ao consumo doméstico, acrescida de porções rotineiras destinadas aos usos comercial, industrial e público e às perdas. Não temos si-do condicionados por especificações que definam estados de emergência, conquanto sabido seja que tais estados podem ocorrer, nas interrupções anormais dos órgãos do sistema situados à montante da rede, nas interrupções do escoamen-to em linhas tronco da própria rede, na estada de populações transitórias e na eventualidade de incêndio. Sobre este último, julgamos oportuno rememorar, de passagem, a questão formulada por um eminente professor, a um eminente candi-dato a professor, em uma prova de defesa de te-se: Então, V.S., como professor de Saneamento, aprovaria um projeto de rede pública de distri-buição de água que preconcesse a contingência de uma comunidade se vêr à mercê de incêndio, sem água suficiente para combatê-lo ?

Dentre autores latino-americanos, conside

ramos que o engenheiro M.R. Garcia, do México, salientou, com bastante realce, certos aspectos do problema, através das afirmações que apresentamos abaixo (5, p. 591).

"Ao elaborar um Projeto de Abastecimento de Água, encontram-se os engenheiros sanitarristas com a falta absoluta de dados que lhes sirvam para fixar a quantidade de água necessária, já que não existem registros de consumo, nem estudos que lhes permitam chegar a uma conclusão. Além disso, se os mesmos recorrem aos livros que tratam da matéria, sejam norteamericanos, europeus ou argentinos, encontram dados isolados, que dizem que esta ou aquela comunidade consome, diariamente, determinado volume de água, e não especificam elemento que sirva para nortear um critério, a não ser quanto à população abastecida".

"Ninguém ignora a importância de conhecer a quantidade de água a ser considerada por habitante e por dia, bem como as variações do consumo de água durante o ano e durante o dia. É a base de todo o estudo ..."

"Deve-se, portanto, estudar profundamente



o problema." (\*)

Finalizando esta resenha sôbre incertezas, dificuldades ou contradições inerentes ao assunto, dentro da conjuntura da qual emana o problema em foco, apresentamos, a seguir, uma observação interessante feita por C. Dubin, ao ensejo do segundo congresso da Association Internationale des Distributions d'Eau, observação essa que revela uma significativa tendência ao ceticismo, mediante renúncia ao próprio problema, como alternativa de comportamento diante dos fatos implicados. Na condição de relator geral do Tema 9 - Cálculo de rêdes malhadas, Dubin informa que, para facilitar o trabalho dos relatores de cada país, a êstes fôra enviada uma circular recomendando-lhes que abordassem as questões seguintes: 1º) Estudo de rêdes malhadas pelo cálculo puro; 2º) Idem, por modêlos; 3º) Idem, por método misto. No entanto, escreve o relator geral (6):

"l'ensemble des remarquables rapports qui nous ont été envoyés sur la question du calcul des réseaux maillés a permis de dégager un point de vue que le rapporteur général n'avait pas prévu dans son questionnaire, à savoir que de nombreux techni-

(\*) Tradução nossa.

ciens ne sont pas partisans d'un tel calcul".

"Il nous apparaît donc nécessaire, avant de poursuivre l'examen des méthodes de calcul, d'examiner les arguments de ceux qui n'estiment pas utile d'employer ces méthodes.

Ces arguments se ramènent a deux idées principales que nous examinerons sucessivement.

1º) Il régné sur les débits à admettre dans le réseau une grande incertitude qui rend tout calcul illusoire".

## 2- Objetivo do trabalho

No presente trabalho, objetivamos examinar os fundamentos em que se deve basear o cálculo das vazões de distribuição destinadas ao abastecimento de uma população preestabelecida.

Procuramos evidenciar que o problema é suscetível de encaminhamento racional, e ten-

tamos assinalar, mediante estudo crítico, quais os seus principais pontos que estão a recomendar pesquisas e medidas para aperfeiçoamento.

Fizemos uma tentativa de sistematização das condições de cálculo das vazões de distribuição, em conexão com critérios de projeto, tendo em vista fornecer subsídio para futuras normas e especificações mais compreensíveis sôbre o assunto.

Analizamos métodos de cálculo para as referidas vazões, em consonância com os respectivos critérios de projeto. Investigamos, neste particular, certas partes obscuras do problema, com uma tentativa de formulação da teoria correspondente, para o fim de alicerçar um método de cálculo apropriado e, pelo equacionamento dos fatores intervenientes, orientar ulteriores trabalhos de obtenção e interpretação de dados experimentais. Nessa concepção teórica, evidenciamos que as condições de escoamento, nas canalizações, nem sempre poderão ser

bem explicadas, se forem consideradas apenas as variações sazonais da vazão média.

### 3- Agradecimentos

Com especial reconhecimento, registramos a nossa gratidão ao saudoso Prof. Geraldo H. de Paula Souza e aos Profs. Lucas N. Garcez e Octacílio P. Sene, pela oportunidade e estímulo que nos proporcionaram no sentido da especialização em Saúde Pública; aos membros do corpo docente e da administração da Faculdade, pelo espírito de amizade que propiciaram ao nosso ambiente de trabalho; ao Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo e, em particular, ao diretor da D.P.O., Prof. José M. de Azevedo Netto, pelo apoio que nos prestaram, confiando-nos trabalho de consultoria técnica sobre rede de distribuição de água, trabalho que, embora a curto prazo, muito contribuiu para que pudessemos nos dedicar plenamente a este estudo; à Prof. Elza S. Berquó, pela atenção com que sempre atendeu as nossas consultas sobre aspectos teóricos de domínio dos especialistas em cálculo de probabilidades; aos Profs. Octacílio P. Sene e José M. de Azevedo Netto e ao As-

sist. José A. Martins, pelas valiosas sugestões que nos apresentaram; à D<sup>o</sup> Olga Leite Ergas, pela cooperação eficiente da secretaria do Departamento de Saneamento. Finalmente, mas com particular destaque, a nossa afetuosa gratidão à Maria Stella, pela compreensão e dedicação de esposa, nosso maior incentivo nesta fase inesquecível da carreira de magistério.

## II- CRITÉRIOS DE PROJETO

### 1- Sôbre os consumos a serem atendidos

1.1- As demandas de água, previsíveis em uma comunidade, podem ser discriminadas, em têrmos gerais, nas parcelas seguintes:

#### Uso doméstico

- bebida
- cozinha
- asseio corporal
- descargas de bacia sanitária
- limpezas
- lavagem de roupas
- rega de jardins e quintais
- lavagem de automóveis
- animais domésticos
- piscinas residenciais
- aparelhos grandes de ar condicionado
- fontes ornamentais em residências ou conjuntos residenciais.

#### Uso comercial

- hotéis e pensões
- bares e restaurantes
- postos, entrepostos e armazéns
- lojas

#### Uso industrial

- usos exigindo potabilidade
- usos exigindo condições físicas e/ou químicas

### Uso público

- edifícios públicos
- bebedouros
- irrigação e lavagem de ruas
- lavagem de rêsdes de esgotos
- piscinas públicas e recreação
- combate a incêndios
- irrigação de jardins públicos
- fontes ornamentais

### Uso agrícola

- usos exigindo potabilidade
- usos exigindo condições físicas e/ou químicas

### Perdas

- no sistema público de abastecimento e instalações particulares.

1.2- Sob um critério ideal, admitiremos que, no projeto para instalação ou reforma de um sistema de abastecimento de água, as vazões de distribuição devam decorrer, exclusivamente, da avaliação das quantidades requeridas por aqueles vários usos, sob a pressuposição de que nenhuma condição seletiva venha a intervir na aplicação a ser esperada para o líquido.

1.3- Somos de parecer, entretanto, que a natureza complexa do problema aconselha, em cada cidade ou grupo de cidades, a atuação dinâmica

de um órgão planejador, capaz de estabelecer um razoável critério preferencial, a ser atingido através de medidas administrativas que incluam educação sanitária e taxaçaõ adequada e, ainda, em última instância, imposiçaõ legal. O critério de projeto, no que concerne à fixaçãõ das vazões de distribuiçaõ, deverã ser uma resultante dessa orientaçaõ, em face das características prõprias do meio a ser beneficiado.

1.4- Os preceitos seguintes destinam-se a justificar e elucidar o nosso ponto de vista.

1.4.1- O abastecimento público de água é, básicamente, um problema de Saúde Pública.

1.4.2- Segundo Gaylord W. Anderson (7),

"a Saúde Pública se diferencia da Medicina Preventiva pela circunstância de que a última trata do indivíduo ao passo que a primeira se refere à comunidade tãda. A Medicina Preventiva visa prover o indivíduo com o máximo de proteçaõ, sem grande preocupação com limites de verbas. A Saúde Pública visa oferecer o máximo possível de proteçaõ, para o maior número de pessoas,



mediante o emprêgo duma verba pré-determinada. Devido a razões orçamentárias, fica ela muito aquém dos fins da Medicina Preventiva, e seu programa é regido pelo princípio dos lucros decrescentes. A Saúde Pública deve ser encarada como um emprêgo de capital e não como uma despesa. Essa premissa foi a primeira sôbre que se baseou o desenvolvimento da Saúde Pública, há um século, na Inglaterra. Embora a Saúde Pública vise evitar danos ao indivíduo, ela é baseada no pressuposto de que o bem estar da comunidade é mais importante do que os direitos pessoais do indivíduo. Está, portanto, baseada sôbre uma interpretação ampla do poder policial da comunidade, concordando, de resto, com o conceito fundamental de "salus populi suprema lex".

1.4.3- Os trabalhos de abastecimento público de água constituem uma das atividades fundamentais de saneamento do meio ambiente.

1.4.4- De um modo geral, conforme nos ensina o Prof. Pousa Sene (8), são as seguintes as metas que devem reger um programa de saneamento, na ordem decrescente de suas importâncias relativas:

- a) controle dos fatores ambientes especificamente relacionados com as doenças transmissíveis;
- b) promoção de hábitos de saúde e controle de causas indiretas de doenças;
- c) controle de fatores relacionados ao nosso conforto e conveniência;
- d) controle dos aspectos condicionados ao nosso senso estético.

1.4.5- Os fornecimentos de água, em quantidade suficiente para os vários usos previsíveis, enquadram-se em metas sanitárias diferentes entre si, capazes de aconselhar uma escala de preferências em face de limitações financeiras, em um programa de comunidade. Por outro lado, a natureza complexa dos fatores intervinientes, abrangendo inclusive aspectos econômicos, hidráulicos e hidrológicos, a par do comportamento mutável de muitos desses fatores no decorrer do tempo, aconselha que, normas gerais a respeito do assunto, sejam judiciosamente complementadas por especificações aplicáveis a cada caso ou a grupo de casos semelhantes.

1.4.6- Sob os aspectos social e administrativo, poderá ser conveniente deixar a magnitude das solicitações de água ao sabor da lei da oferta e da procura. Mas, não se deverá perder de vista que a procura é condicionada pela educação sanitária e pela tabela em que se baseie a oferta.

1.4.7- Sob o ponto de vista sanitário, a oferta, em um dado estágio de serviços e recursos financeiros disponíveis, só poderá ir até ao limite em que não comprometa o interesse coletivo. E, a uma individualista apropriação acima desse limite, poderá ser de direito a aplicação, em primeira instância, de uma cobrança majorada por coercitiva penalidade.

1.4.8- Em qualquer caso, dever-se-á ter presente o imperativo de ser razoável o critério preferencial. Este não poderá ser confundido com orientação idólatra de economia mesquinha no planejamento e execução de obras e serviços. Deverá, isto sim, ser uma ordenação, visando aplicação de investimentos de modo economicamente eficiente mas socialmente equânime, dentro de uma política progressista mas humanitária. Representará, pois, um critério de adequação, compatível com os recursos previsíveis, em que se reivindique, primordialmente,

um mínimo de condições de saúde para o maior número de pessoas, ao mesmo tempo em que se procure facultar, como complementação, o máximo possível de facilidades sanitárias para cada indivíduo isoladamente.

1.5- Os dados ilustrativos seguintes destinam-se a fornecer subsídios para estudos mais pormenorizados sôbre a matéria.

1.5.1- Nos Estados Unidos, o abastecimento público de água, para as necessidades primárias, é um problema praticamente resolvido há certo tempo. Em 1950, 97,2% das habitações urbanas (e 45,5% das habitações rurais) dispunham de água encanada em seu interior (9). Não obstante, os órgãos responsáveis continuam a braços com novas solicitações de consumo, que geram novos problemas de falta d'água. Evidencia-se o caráter instável dos níveis de suficiência, que tendem a uma elevação progressiva, diante de uma sociedade a evoluir continuamente, em busca de padrão de vida cada vez mais elevado.

Obras vultosas, de refôrço do sistema de abastecimento, constituem, hoje em dia, exigên-

cias principalmente do extraordinário aumento das demandas de água para rega de jardins e pararesfriamento de aparelhos grandes destinados a condicionamento de ar, demandas essas que estão a agravar de muito o problema que já vinha sendo criado pela multiplicação de aparelhos de utilidade doméstica (9).

Enquanto não se executam tais obras ou tendo-se em conta os encargos relativos às mesmas, diversas formas de procedimento tem sido adotadas. Porém, distinguimos, nessas diferentes formas, um princípio em comum: empenho em absorver o impacto do problema da falta de água através de tipos de consumo (e não de bairros) a serem condicional ou parcialmente atendidos, começando-se pelos de menor importância. Apresentamos, abaixo, alguns exemplos.

Em Long Island, Estado de Nova Iorque , foi proibido o uso do sistema de irrigação subterrânea durante o período diurno (10).

Em Levittown, Estado de Pensilvânia, reconheceu-se o direito de os consumidores esperarem receber, do sistema público, toda a água para irrigação que desejassem adquirir. Mas, recomendou-se que o ônus correspondente fôsse

computado em separado, de modo a ser revertido sobre os próprios interessados. Saliou-se a ineficácia dos hidrômetros usuais, neste setor da taxaço, que é muito mais influenciado pela demanda potencial instalada do que pelo consumo lido periódicamente no medidor. Sugeriu-se que, sobre a taxaço normal baseada no consumo medido, se aplicasse uma sobre-taxa dependente do tipo e tamanho do sistema de irrigaço(10).

Em Kansas City, adotou-se, em 1951, um sistema de taxaço onde se fixou, para as habitaço, um consumo máxmo considerado como o limite para usos ordinários; todo o excedente passou a ser admitido como aplicado em irrigaço de jardins ou condicionamento de ar, devendo pagar taxa especial. Numa situaço de emergência, devido a falha de uma estaço elevatória em dia de consumo elevado, não se teve pejo em recorrer à proibição da prática de irrigaço, proibição essa imposta por meio de inspetores rondantes (11). O uso da água em condicionamento de ar foi, a partir de 1951, tentativamente controlado mediante taxaço especial; devido à relativa ineficácia da medida, tomou-se, em 1954, resolução drástica proibindo novas instalaço de condicionamento de ar que não fossem providas de dispositivo para recirculaço da água (12).

Em Milwaukee, a partir de 1948, foi introduzido "acionamento" ou regime intermitente da água para irrigação. Entre 1º de junho e 15 de setembro, os moradores de um lado da rua foram proibidos de irrigar os seus jardins, entre as 15 e 18 horas, nas segundas, quartas e sextas feiras; durante o mesmo período, os moradores do outro lado ficaram proibidos de fazê-lo nas terças, quintas e sábados (13).

Em todo o país, em 1955, havia mais de uma centena de cidades que, de uma forma ou de outra, impunham condições especiais para o uso da água em condicionamento de ar (14).

1.5.2- Também no Canadá, vamos encontrar prescrições quanto ao uso da água. Assim, em Vancouver e Burnaby, nos períodos de muito calor, casas de número par só podem ter seus jardins irrigados em dias pares e, as de número ímpar, em dias ímpares (15). Em Ottawa, a limitação da rega de jardins a horários determinados, bem como a regulamentação do fornecimento de água para condicionamento de ar, consideradas medidas necessárias, são rigorosamente impostas (16).

1.5.3- Pesquisa realizada em 1957(17),

indicou que, dentre 709 cidades dos Estados Unidos, Canadá, Havaí e Cuba, 203 tinham regulamentações, em vigor, a respeito de uso da água em condicionamento de ar e 40 as estavam estudando oficialmente. Naquelas 203, havia um total de 59 que aplicavam taxaço especial; 119 condicionavam o referido uso a autorizaço prévia, permanente ou anual, autorizaço essa expedida mediante cobrança de certa importância; e 99 especificavam limites máximos permissíveis para o consumo de água em aparelhos providos de dispositivo para recirculaço da água. Em aditamento a multas e penalidades previstas pelos códigos gerais, 95 daquelas comunidades impunham disposiçoões específicas, abrangendo multas cujos máximos iam de 10 a 1 000 dólares; em muitas, previam-se sentenças de prisáo como alternativa ou como suplemento, comumente de 90 dias, algumas indo até um ano.

1.5.4- No Brasil, para fornecimento de água ao meio urbano, temos aceito a tese da inadequaço da livre concorrência; por outro lado, temos presenciado um desnível social de país subdesenvolvido. Nestas condiçoões, o controle dos gastos de água decorrentes de negligência, descomedimento, ostentaço e outros vícios com tendência a crescer (gastos que denominaríamos desperdícios), merece atenciosa ponderaço. Com efeito, como satisfazer tais gas-



tos indiscriminadamente e a preço de custo, se êles exigirem investimentos que absorvam os minguados capitais disponíveis e, assim, prejudiquem o atendimento urgente de uma dívida (com prazo já vencido) reclamada pela parcela substancial de população ainda desprovida de água para as suas necessidades primárias ? Qual o ônus moral e material que essa dívida, não saldada, estaria causando ? Neste particular, infelizmente continua oportuno o significado dos dados apontados, em 1953, por uma Comissão Federal (\*), de cujo relatório (18) extraímos o seguinte.

- a) É bastante precária a situação do Brasil no que se refere a serviços de suprimento de água potável, uma vez que 1 500 dos 1 920 municípios brasileiros não possuem tais serviços. Isto significa que cerca de 88% da população total do país se abastecem de águas contaminadas.
- b) A inexistência de serviços de abastecimento de água de boa qualidade facilita a propagação de doenças de origem hídrica,

---

(\*) Comissão integrada por Cleantho de Paiva Leite, J. N. Pereira, F. Saturnino de Brito Filho, H. Xavier Lopes, G. Arinos, J.O. de Melo Flôres, Ernani Braga, A. Barreto Gonçalves, G. Jardim, G. Sampaio, Walter Sanches, Gerson A. Silva e A. Almiro Costa.

as quais, como se sabe, figuram com grandes porcentagens nos obituários.

- c) As estatísticas elaboradas pelo Serviço Especial de Saúde Pública (S.E.S.P.) revelam que é superior a 90% a incidência de moléstias intestinais nas cidades desprovidas de serviços de água. É fato conhecido que as moléstias intestinais constituem as principais causas de morte no Brasil, respondendo, em algumas cidades, por cêrca de 35% dos óbitos registrados.

1.5.5- No Estado de São Paulo, inquérito sanitário efetuado, em 1952, pelo Departamento de Saúde do Estado (19), revelou que, dos 369 municípios então existentes, 138 não possuíam sistema público de abastecimento de água. Nos 231 que o possuíam, em grande número de casos o sistema atendia a uma percentagem reduzida da população, havendo mesmo vários casos em que esta percentagem era inferior a 10%. De 1952 para cá, muitas obras têm sido construídas, tendendo a melhorar o quadro estadual de municípios com serviços básicos de saneamento, embora o incremento de habitantes e a criação de novos municípios tenham representado acréscimos em contrário.

1.5.6- No Município de São Paulo, em 1957, estimou-se (20) que havia uma população, considerada como abastecível, totalizando 2 688 000 habitantes. Dêstes, ainda não recebiam água do sistema público, quase meio milhão de pessoas, ou seja, uma população numericamente equivalente a cerca de 30 vezes a cidade de Pindamonhangaba.

1.5.7- Com o intuito de dar uma configuração prática ao problema da fixação das vazões de distribuição, quanto à importância e à maneira pela qual o mesmo tem afetado ou pode afetar nossos projetos e nossos planos de financiamento de sistemas públicos de abastecimento de água, catalogamos os dados ilustrativos constantes dos Quadros II-1 a II-6 (\*).

No Quadro II-1, apresentamos valores extraídos dos projetos do sistema de abastecimento de água de 24 cidades do interior paulista, projetos êsses abrangendo situações e auto

(\*) Desejamos consignar os nossos agradecimentos, aos engenheiros José Augusto Martins e Odyer Angelo Sperandio, pela colaboração prestada na obtenção dos referidos dados.

res vários. Com êste estudo, podemos visualizar o custo relativo dos vários órgãos constitutivos e, especialmente, constatar a importância predominante do custo da rêde de distribuição. Devemos assinalar que nos referimos a população de projeto de até 30 000 habitantes, limite onde se enquadrará, durante muito tempo ainda, a maioria dos projetos para cidades brasileiras.

Para que não percamos de vista a situação do problema dentro do âmbito nacional, especialmente quando tratarmos de normas para projeto e para financiamento, estamos expondo, no Quadro II-2, a distribuição das cidades e vilas, conforme o último censo demográfico do país (21). Notemos que, das 1 888 cidades então existentes, 1 792 tinham população igual ou inferior a 20 000 habitantes e que, das 3 491 vilas, 3 486 enquadravam-se no mesmo limite.

No Quadro II-3, expomos dados referentes a outras cidades.

Nos Quadros II-4 e II-5, apresentamos, relativamente aos mesmos projetos enumerados nos Quadros II-1 e II-3, as distribuições das

canalizações constitutivas das rêdes projetadas, por diâmetro nominal (expresso em milímetros).

Finalmente, em correspondência aos Quadros II-4 e II-5, organizamos o Quadro II-6, onde expomos as distribuições acumuladas das canalizações constitutivas das rêdes, em função das vazões máximas que têm condicionado a escolha do diâmetro das canalizações distribuídas. Podemos observar, em coluna referente ao Quadro II-4, que vazões de distribuição, compreendidas no intervalo de zero até 1,2 litros por segundo, presidiram o dimensionamento de 68% das canalizações (sendo desconsiderado o limite de 2,2 litros por segundo, devido à quantidade muito pequena de tubos de 60 mm); até 6,1 litros por segundo, presidiram 85% das canalizações e, até 29,2 litros por segundo, presidiram 97%. Em coluna relativa ao Quadro II-5, rêdes de cidades grandes, podemos, análogamente, notar que, na maioria das tubulações, vigoraram vazões de distribuição pequenas, inferiores a 3,2 litros por segundo; ademais, em 89%, as vazões de distribuição consideradas foram inferiores a 29,2 litros por segundo.

Quadro II-1

Nº	Projeto Cidade	População de Projeto	Orçamento parcial (em % de orçamento total do projeto)				
			Captação	Adução(*)	Tratamento Reserv.	Rede distrib.	
1	Fernando Prestes	1 900	8	41	-	9	42
2	Cajobi	2 000	5	39	-	8	48
3	Santana de Parnaíba	2 200	3	22	22	9	44
4	Elias Fausto	3 000	11	26	31	5	27
5	Pariquera-Açu	3 000	1	44	19	10	26 (£)
6	Auriflama	3 000	9	28	-	11	52
7	Severina	3 300	3	49	2	10	36
8	Guaimbé	3 600	2	15	17	15	51
9	Reginópolis	3 600	11	16	-	12	61
10	Rio das Pedras	4 000	2	34	15	6	43
11	Mineiros do Tietê	4 000	5	47	-	6	42
12	General Salgado	4 000	10	14	-	19	57
13	Torrinha	4 500	5	26	29	8 (\$)	32 (\$)
14	Jaguariúna	4 500	1	24	10	14	51
15	Divinolândia	4 500	3	34	23	10	30
16	Monte Azul Paulista	6 000	3	34	23	8	32
17	Guaraci	10 700	1	18	16	13	52
18	Pederneiras	13 000	6	34	-	12	48
19	Descalvado	14 000	1 (\$)	13 (&)	3	17	66
20	Porto Ferreira	15 000	2	21	25	9	43
21	Ribeirão Pires	15 000	3	29	18	7	43
22	Aparecida	20 000	2	8	25 (\$)	6	59
23	Pinhal	21 000	1	18	23	5 (\$)	53 (\$)
24	Poá	30 000	6	12	23	11	48

(\*) Compreende adução de água bruta bem como sub-adutoras e estações elevatórias de água potável, mesmo que intercaladas no sistema de distribuição.

(\$) Houve aproveitamento de obras de valor sensível, não incluídas no orçamento.

(&) Houve aproveitamento de obras de valor relativamente pequeno, não incluídas no orçamento.

(£) Primeira etapa.

Quadro II-2

Habitantes	Cidades		Vilas	
	Quantidade	População	Quantidade	População
até 200	4	544	643	84 555
201 a 500	39	15 307	1 313	441 057
501 a 1 000	256	198 062	1 006	695 434
1 001 a 2 000	559	808 146	386	521 317
2 001 a 5 000	595	1 822 371	97	263 217
5 001 a 10 000	230	1 593 523	28	188 744
10 001 a 20 000	108	1 505 502	11	144 929
20 001 a 50 000	64	1 900 473	4	105 954
50 001 a 100 000	21	1 560 985	1	52 424
100 001 a 200 000	3	507 451	-	-
200 001 a 500 000	5	1 533 326	-	-
mais de 500 000	3	4 832 458	-	-
<b>Total</b>	<b>1 888(*)</b>	<b>16 278 148</b>	<b>3 491(*)</b>	<b>2 497 631</b>

(\*) Incluem a cidade de Nova Era, em Minas Gerais e as vilas de Água Azul e Antonio Olinto, no Paraná, cujos dados coletados se extraviaram.





Quadro II-1

Projeto Nº	Extensao da rede projetada, por diâmetro (em % da extensão total projetada) (*)							Extensao to- tal da rede projetada (m) (*)
	50-60	75	100	125	150	200	Acima de 200	
1	74	5	6	15	-	-	-	6 220
2	84	-	9	2	5	-	-	11 774
3	93	1	2	2	2	-	-	7 493
4	61	4	6	1	28	-	-	6 060
5	55	-	35	-	-	10	-	4 375 (£)
6	84	2	8	3	3	0	-	11 280
7	64	6	17	6	-	7	-	3 805
8	76	-	18	-	6	-	-	5 974
9	74	2	6	10	6	2	-	6 140
10	72	3	8	3	3	11	-	13 598
11	74	7	9	8	2	-	-	9 530
12	66	-	13	15	3	3	-	6 015
13	67	7	12	10	-	4	-	9 007
14	77	5	5	7	-	6	-	9 170
15	83	2	9	1	5	-	-	12 647
16	78	3	11	4	3	1	-	20 181
17	76	13	3	3	2	3	-	15 857
18	77	4	6	6	3	3	1	25 658
19	77	1	4	-	9	6	3	32 571
20	79	2	8	5	4	2	0	28 790
21	64	13	8	6	1	5	3	44 536
22	40	31	5	5	5	3	11	34 376
23	71	8	5	2	3	3	8	46 099
24	58	9	13	7	3	5	5	22 026
25	61	13	10	8	8	-	-	3 640
26	75	7	6	9	2	1	0	9 148
27	54	20	9	8	4	2	3	44 699
<b>Total (km)</b>	<b>309</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>450,669</b>
<b>Média (%)</b>	<b>68</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	

(\*) Inclui a parte aproveitada da rede eventualmente existente.

(£) Primeira etapa.

Quadro II-5

Projeto Nº	Extensão da rede projetada, por diâmetro (em % da extensão total projetada) (*)							Extensão total da rede pro jetada	
	Acima							(m)	(*)
	50-60	75	100	125	150	200	de 200		
28	65	8	10	1	7	2	7	106	229
29	75	6	4	5	2	5	3	301	921
30	62	0	8	3	4	4	9	490	461
31	61	2	12	6	4	5	10	363	843
32	38	26	14	2	5	3	12	609	810
33	-	73	10	4	4	6	3	27	446
34	-	-	21	-	45	10	24	13	942
35	-	51	14	-	16	6	13	86	028
36	-	60	10	-	9	6	15	208	696
37	0	64	9	0	9	4	14	256	339
38	-	50	12	-	15	8	15	155	857
39	-	57	13	-	11	6	13	245	182
40	-	61	10	-	12	5	12	252	450
Total (km)	1 055	967	329	67	223	143	335	3 118,204	
Média (%)	34	31	10	2	7	5	11		

(\*) Inclui a parte aproveitada da rede eventualmente existente.

Quadro II-6

Diâmetro (mm)	Vazão de distribuição limi- tada (l/s)	Extensão de rede, acumu- mulada, em km		Extensão de rede, acumu- lada, em	
		Quadro II-4	Quadro II-5	Quadro II-4	Quadro II-5
50(60)	1,2(2,2)	309	1 055	68	34
75	3,2	349	2 022	77	65
100	6,1	384	2 351	85	75
125	10,4	406	2 418	90	77
150	14,6	423	2 641	94	84
200	29,2	437	2 784	97	89
200(*)	29,2(*)	450	3 119	100	100

(\*) Acima de.

1.5.8- Dentro dêste apêndice à presente parte do trabalho, e ainda com o intuito de for necer subsídios para estudos mais avançados, ju l gamos haver interêsse em abordarmos, mesmo que suscintamente, o problema do combate a incêndios, à luz dos preceitos que enunciamos. Falamos, mediante confronto com a experiência havi da nos Estados Unidos, devido à tendência com que as prescrições sôbre segurança contra o fogo, expostas na valiosa literatura técnica da-quele país, possam influir e ser assimiladas in discriminadamente entre nós.

Dados sôbre a evolução histórica dos Estados Unidos, nos revelam que, a destruição de lares e de vidas, pelo fogo, ocorreu em l a r g a e s c a l a e s c a l a desde os primórdios da ocupação da terra pelos pioneiros. Motivos, que escapam à presente análise, fizeram com que os norteamericanos construíssem e aparelhassem às suas casas, as suas tulhas e, a seguir, as suas cidades, com materiais de fácil combustão, sob condições cli m áticas agravantes, edificando-as à feição de lenheiros altamente vulneráveis a uma conflagração. A história de cada uma de suas grandes cidades registra repetidas conflagrações. Nova Orleães sofreu um desastroso incêndio em 1788 e, logo em 1794, novamente foi atingida por si

nistro de mesma natureza. Toques de sino dando alarma de fogo, tãda a gente válida - balde na mão - a acorrer para a luta contra o perigo coletivo, cenas dantescas de salvamento de velhos e crianças, transporte de água de cisternas por meio de baldes passados de mão em mão ("bucket-passing brigades"), constituem aspecto característico da vida norte-americana de antigamente.  compreensível que se consigne, com respeito, a criação do primeiro corpo de voluntários do fogo, em 1736, como uma das realizações de Benjamin Franklin. Com o evoluir das cidades, a opinião pública se compenetrou da necessidade de se instalarem sistemas públicos de abastecimento de água, com o escopo de melhor enfrentar, segundo os jornais da época, dois problemas básicos: combate ao fogo e contrôle de poeiras no verão. Blake (22), relatando as dificuldades encontradas na implantação de sistemas públicos de abastecimento de água, entre 1790 e 1860, nas cidades de Filadélfia, Nova Iorque, Boston e Baltimore, menciona que a construção de tais sistemas visou, em grande parte, contrôle de incêndios e da febre amarela. Os historiadores Nichols, Bagley e Beard, descrevendo o

crescimento das cidades norteamericanas, sob a égide de novas condições de vida, afirmam (23, p. 247): - "As cidades também começaram a pensar mais no bem estar e no confôrto. Grandes incêndios, em Chicago e Boston, ensinaram uma lição necessária. As cidades melhoraram seus serviços de bombeiros. Aumentaram o número de registro d'água, de modo a que mais água pudes-se ser utilizada. Em vez dos grandes sinos que badalavam alertando o povo contra incêndio, instalaram-se caixas de alarme telegráfico nas esquinas, para que não houvesse demora no socorro. Novas bombas de incêndio foram compradas". Contudo, no que diz respeito à construção e aparelhamento das casas, prevaleceu o espírito sintetizado nas seguintes frases de Vianna Moog (24, p. 178): - "Isolada no meio de parques ou agarrada às outras na padronizada monotonia dos arruamentos, a casa americana, na sua estrutura e planejamento, nada mais é que a "log-cabin" amplificada, isto é, a solução pioneira de morada para o presente, sem compromissos com o passado remoto e sem vistas ao futuro longínquo". - "O pioneiro, na sua marcha para o Oeste, deixou ao litoral a preservação da arquitetura inglesa, para improvisar em torno da "log-cabin", adequando-a cada vez mais às circunstâncias de espaço e de tempo". - "Claro que também nos Estados Unidos se constroem casas-grandes e mansões

com o sentido europeu de tempo e posteridade. São, todavia, exceção, O que predomina é a casa de madeira, o sentido de utilidade imediata, presente, atual, uma desenvolta despreocupação da resistência com que há de afrontar o tempo e as idades, circunstância que bem traduz, no plano da arquitetura, a posição psicológica do americano ante o conceito de passado, tão diverso do europeu e do nosso".

A sensação de insegurança e a necessidade de uma garantia, diante do risco evidenciado pelos incêndios, parece-nos, contribuíram em larga escala para o desenvolvimento do apreço norteamericano ao recurso do seguro. Assim entendemos o extraordinário desenvolvimento das suas organizações de seguro contra incêndios, cuja associação de classe, a conhecida N.B.F.U. - National Board of Fire Underwriters, fundada em 1866, passou a ser reconhecida como instituição de interesse público. Assim também entendemos a notória influência da N.B.F.U. sobre os projetistas de sistemas públicos de abastecimento de água, através da sua famosa "Standard Schedule for Grading Cities and Towns of the United States with reference to Their Fire Defenses and Physical

Conditions", que vem desde 1916. Por este "Schedule", as cidades norteamericanas são classificadas, por pontos perdidos acumulados, em uma tabela contendo 10 classes, estas classes se sucedendo por acréscimos uniformes de 500 pontos perdidos; dêsse modo, na primeira classe se situam as cidades com zero a 500 pontos perdidos e, na décima e última classe, as cidades com 4 500 a 5 000 pontos perdidos. As taxas de seguro contra incêndios são presididas por disposições estaduais, as quais levam em conta a classe atribuída a cada cidade. Braun (25), para dar um exemplo de como este último fator influi, relata que, a taxa incidente sobre uma moderna casa residencial de madeira, tendo telhado em ripado de madeira, sob toda proteção oferecida por Seattle (Estado de Washington), que pertence à Classe 2, é aproximadamente 70% inferior à taxa que incidiria sobre um edifício idêntico localizado em situação não protegida ou Classe 10. Há, portanto, um argumento suplementar imediato, incitando a opinião pública de cada cidade, no sentido de aceitar ou mesmo exigir providências destinadas a uma melhor classificação. Para este fim, é necessário diminuir o número de pontos perdidos. O citado "Schedule" estipula, pormenorizadamente, o critério pelo qual os inspetores da N.R.F.U. (cidades com 25 000 ou mais habitan-

tes) ou os inspetores das agências regionais (cidades restantes) irão computar os pontos. Ora, numa espécie de distribuição ponderal das importâncias relativas admitidas, o "Schedule", divide o total de 5 000 pontos em sete itens, da seguinte forma: Sistema Público de Abastecimento de Água - 1 700 pontos; Corpo de Bombeiros - 1 500 pontos; Sistema de Alarma - 550 pontos; Polícia - 50 pontos; Código de Obras ("Building Laws") - 200 pontos; Prevenção de Incêndio ("Fire Prevention") - 300 pontos; Condições Estruturais ("Structural Conditions") - 700 pontos. É, pois, no abastecimento público de água, onde se pode alcançar maior redução de pontos. Para isto, é preciso obedecer às exigências técnicas, altamente onerosas, da N.B.F.U., relativas ao serviço de água. São especificações, consubstanciadas em 32 itens principais, que vão desde a maneira de nomear funcionários até às características dos ramais alimentadores dos hidrantes. Também aqui, há uma ampla diferenciação ponderal, destacando-se, com grande número de pontos, o volume dos reservatórios e a capacidade, segurança e diâmetro mínimo da rede de distribuição. Inclui, no que diz respeito às vazões de distribuição para zonas centrais das cidades, o cálculo da demanda de incên-



dios pela conhecida fórmula:

$Q = 1\ 020\sqrt{P} (1 - 0,01\sqrt{P}) (*)$ , fórmula essa estabelecida em 1 911, pressupondo a emergência de se ter de enfrentar alastramento do sinistro em forma de conflagração.

Apesar de tudo, o fogo continúa sendo um grande espantelho para o povo norteamericano. Figura entre as principais causas de morte por acidente, apenas sendo superado pelos acidentes em veículos e em quedas. A N.F.P.A. National Fire Protection Association (26), em 1 954, estimava um total anual da ordem de 12 000 casos fatais e indicava, que, ferimentos, sempre dolorosos e comumente deformantes, atingiam um número de pessoas pelo menos várias vezes maior. As maiores frequências de casos fa-

---

(\*) Nessa fórmula,  $Q$  é a vazão para combate a incêndios, em galões/minuto, e  $P$  é a população da cidade, em milhares de habitantes. A fórmula é aplicável até  $P = 200$ , quando fornece  $Q = 12\ 000$  galões/minuto (760 litros/segundo). Para cidades com população superior a 200 000 habitantes, deve-se adotar a demanda de 12 000 galões/minuto e mais uma outra, suplementar, de 2 000 a 8 000 galões/minuto, destinada a um segundo incêndio simultâneo.

tais, na distribuição por tipos de ocupação de edifícios, ocorriam em habitações (casas residenciais, apartamentos, pensões e hotéis), as quais englobavam cerca de metade do total. Em cinco anos (1947-1951), o número médio de incêndios em edifícios foi de 582 600 por ano, correspondendo-lhe um prejuízo médio de 706 milhões de dólares por ano. Nesse número médio de incêndios, incluíram-se 359 080 em habitações, o que representou uma incidência da ordem de oito por mil, ou seja, um incêndio por ano para cada 125 habitações. Acrescentando-se os incêndios ocorridos fora dos edifícios (aviões, veículos, lixo, gramados, matas etc.), a média naquele período de cinco anos atingiu o montante anual de 1 740 290 casos, conduzindo a um índice da ordem de 1 200 incêndios por ano, para cada 100 000 habitantes. E o prejuízo médio correspondente foi de 782 milhões de dólares por ano - importância, no dizer de Braidech<sup>(27)</sup>, cerca de 75% maior que os prejuízos estimados nas propriedades inglesas, durante dois anos de "blitz" germânica.

Os fatos apontados tornam compreensíveis dois aspectos da situação norteamericana. Em primeiro lugar, a susceptibilidade ao fogo, inculcada no cidadão comum e, a água para combater a incêndios, equiparada aos usos de eleva

da importância. Em segundo lugar, os danos materiais decorrentes do fogo, considerados prejuízos econômicos de alta relevância e, a água para combate a incêndios, secundariamente, requerida para controle de fator ligado à conveniência.

Diferente foi o desenvolvimento histórico das casas e das cidades brasileiras, em grande parte por influência do distinto critério português, seguido da preservação de boas tradições por parte dos brasileiros. Nos tempos coloniais e, depois, no período imperial, houve uma predominância absoluta de construções à base de taipa de pilão, cerâmica e pedra. Vigorou, em consequência, ambiente menos propício à eclosão e alastramento do fogo, situação ainda favorecida por condições climáticas peculiares, que inclusive permitiram dispensar a calefação. Soalhos, escadas e fôrros de madeira representavam contudo, massas vulneráveis ao fogo; embora, as madeiras de lei, geralmente usadas, oferecessem dificuldade à implantação e à velocidade de propagação inicial do fogo. De qualquer forma, não há dúvida, as casas, tendo como que um razoável envólucro protetor, constituído pelas paredes externas, muros e telhados, muito dificultaram a propagação do fogo, de dentro para fora ou de fora para den-

tro das mesmas. E cada incêndio tendeu a se confinar em um edifício ou em um grupo restrito de edifícios. São deste gênero, os "incêndios de grandes proporções" que a história de São Paulo registra. Incêndios abrangendo um ou dois determinados edifícios. Contrastam com os registros da história norteamericana, que se referem a incêndios de cidades. É Ernani Silva Bruno, em sua obra valiosa (28, p. 749), quem nos conta: - "Foi o que aconteceu por ocasião de um dos maiores incêndios ocorridos na cidade em meados do século passado: aquele que em uma noite de dezembro de 1863 se manifestou em um velho edifício da rua do Comércio esquina da rua da Quitanda, ocupado pelo francês Sauvage, estabelecido com café e com bilhares. No combate contra o fogo se destacaram duas moças negras - Florência Maria Elídia e Maria Augusta Malvina - seu esforço e sua coragem tendo sido elogiados no relatório do chefe de polícia. Esses incêndios e outros acidentes ocorridos na época em estabelecimentos do centro da cidade eram quase sempre ocasionados pelo fato de ser rara a casa comercial que não mantivesse em estoque - apesar da proibição das posturas municipais - muitos quilos de pólvora e dinamite, latas de querosene e pipas de aguardente e álcool.

Ainda em 1870 sabe-se que a deflagração de pólvora levou para os ares o telhado de uma das vendas". Com o transcorrer do tempo, as cidades foram se modificando, refletindo o evoluir da técnica brasileira. Esta, por contingências várias, ainda se filiando à escola européia. Aqueles vigamentos e entabuamentos formando massas combustíveis, atrás mencionados, passaram a ser substituídos por estruturas à base de alvenaria e concreto armado. Com isto, os incêndios, além de pouco frequentes, ainda foram levados a se circunscreverem em compartimentos de edifícios, geralmente permitindo que as pessoas presentes, não só se pusessem a salvo, como ainda, dominassem o fogo com recursos caseiros ou prediais. Mas, como consequência do próprio progresso, um outro problema começou a se corporificar, abrangendo prédios em número relativamente reduzido, porém de grande valia econômica. Maquinários, retortas, maçaricos, cabos de alta tensão, fornos, matérias primas e mercadorias em estoque, em depósito ou em processamento, e outras formas especiais de ocupação de edifícios, passaram a constituir massas com significativos riscos intrínsecos, capazes de gerar e alimentar grandes incêndios localizados e, assim, capazes de exigir, em escala especial, medidas de proteção às pessoas e aos bens materiais presentes.

Dados do I.B.G.E., Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, referentes a 1 957 (29), acusaram, para o Brasil (exclusive o atual Estado da Guanabara), um total de 2 745 incêndios, abrangendo edifícios, veículos, matas etc, o que representou um índice da ordem de 5 incêndios por ano, para cada 100 000 habitantes; nesse total, as residências entraram com uma parcela de 915 incêndios; no mesmo total, o Estado de São Paulo figurou com um montante de 1 014 incêndios e, a sua capital, com 590. O Departamento de Estatística do Estado de São Paulo (30), apontou, em 1 958, um total de 1 151 incêndios no Estado, cuja distribuição, segundo a localização, reproduzimos no Quadro II-7.

Quadro II-7

<u>Localização</u>	<u>Munic. Interior</u>	<u>Munic. S.Paulo</u>	<u>Estado S.Paulo</u>
Estabelec.comercial	77	62	139
Estabelec.industrial	76	249	325
Residência	128	208	336
Edifício público	14	16	30
Depósito	14	32	46
Mata, bosque, est.agropecuária etc.	31	10	41
Veículo	72	99	171
Outros	20	43	63
Total	432	719	1 151

Esses valores nos conduzem aos seguintes números de incêndios por 100 000 habitantes:

Municípios do Interior .....	5
Municípios de São Paulo .....	20
Estado de São Paulo .....	10

Por outro lado, focalizando apenas a parte de moradias, vamos encontrar, no Município de São Paulo, uma incidência da ordem de um incêndio por ano para cada 3 500 residências e, no interior do Estado, cêrca de um incêndio por ano para cada 13 000 residências.

Examinando os sistemas de abastecimento de água das cidades brasileiras e, em especial, revendo os Quadros II-4 a II-6, concluiremos que, sob êste aspecto, as nossas cidades iriam parar nas últimas classes previstas pela N. B.F.U. No entanto, estudando (\*) a Tarifa de Seguro-Incêndio do Brasil (31), iremos vêr, que, cidades como São Paulo, Belo Horizonte e mesmo o Rio de Janeiro, acham-se colocadas na primeira dentre as quatro classes de cidade estabelecidas nessa Tarifa. Porque outro tem sido o nosso critério de classificação; menor importância vem sendo atribuída ao sistema público

(\*) Desejamos consignar os nossos agradecimentos aos engenheiros da Ajax Corretores de Seguros S.A., assim como ao pessoal do Instituto de Resseguros do Brasil, que nos forneceram valiosos dados e orientação.

de água. Ainda mais, veremos que a taxa é influenciada relativamente pouco pela classe à qual a cidade pertença; entre a primeira e a última classe, a oscilação é da ordem de 20% a 50%. Por outro lado, veremos que a classe de construção do edifício (4 classes previstas) e a classe de ocupação do edifício (13 classes previstas) é que influem muito. Entre a primeira e a última classe de construção, a variação da taxa básica é da ordem de 6 a 8 vezes. Entre a primeira e a última classe de ocupação, a variação é da ordem de 7 a 20 vezes. Finalmente, veremos que, no Art. 16 da mesma Tarifa (regulamentado pela Portaria nº 21, de 5 de maio de 1956, do Departamento Nacional de Seguros Privados e Capitalização), ao se estipular a concessão de descontos sobre a taxa básica, são incluídos aqueles que poderão ser proporcionados por hidrantes alimentados por especificados reservatórios da instalação predial (desconto máximo de 30%), bem como por "sprinklers" (desconto máximo de 60%), e nada há de explícito a respeito de descontos que seriam oferecidos se houvessem bons hidrantes na rede pública. E, hoje, como ontem, pessoas bem intencionadas, não se conformam com o nosso aparente destemor, com a nossa relativa despreocupação, ante a "iminência" de as nossas cidades se verem à mercê do fo-



go, e repctem, com palavras novas, a velha advertência com que Laurindo de Brito, em 1880, se dirigia à nossa Assembléia Provincial (28, p. 1204): "A cada incêndio, que felizmente ra ra vez alarma a população desta capital, mas para que já era tempo de estarmos preparados, atento o aumento de fogos, o acúmulo de habitantes e a importância dos prédios, ouvia-se um clamor geral contra a imprevisão que deixava, por falta de máquinas e aparelhos necessários, a cidade exposta à devastação pelo incêndio, quando êste tomasse proporções que exigissem o emprêgo de máquinas mais potentes que as bombas de jardim e deslocação de água mais prontamente do que pelos baldês dos aguadeiros".

A narração que acabamos de fazer, representa um resumo dos principais conhecimentos analíticos que pudemos até agora adquirir, estudando, observando e meditando a respeito do crucial problema do ser ou não ser - a água para incêndio - um uso fundamental, vinculado a pesadas exigências hidráulicas (e financeiras) a serem necessariamente impostas em nossas futuras normas e especificações para projeto da rede pública de água.

Esses conhecimentos nos levam a uma síntese, consubstanciando teses sôbre o menciona-

do problema, as quais apresentamos a seguir.

a) Os norteamericanos, em sua evolução histórica, não conseguiram se libertar do hábito de construir e aparelhar edifícios, especialmente casas residenciais, segundo um padrão que tornou suas comunidades bastante vulneráveis diante do risco evidenciado pelos incêndios. Por isso, tiveram necessidade de se protegerem com sistemas públicos de abastecimento de água cujas qualificações, em matéria de capacidade e presteza, foram ditadas por requisitos de eficiente combate ao fogo. Tal providência, ao lado de outros serviços mantidos em estado de alerta, tem lhes possibilitado o controle de "surtos" ou conflagrações devastadoras; mas não lhes tem livrado de uma alta incidência de casos isolados, de um número elevado de mortos e feridos pelo fogo e de um estado de intranquilidade diante do sinistro.

b) 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, fatores êsses implicados no contato, muitas vêzes olvidado, entre o ho-

mem e os elementos ambientes causadores e transmissores de incêndio.

c) O seguro contra incêndio, nos seus altos propósitos, pode ser interpretado como uma forma de assistência social às vítimas. Repara diretamente o indivíduo, mas não a comunidade. A sua finalidade é dividir, entre todos, os prejuízos de alguns (32). É uma segurança econômica do indivíduo, na insegurança física do ambiente.

d) Quatrocentos anos de história, envol<sup>u</sup>vendo quatrocentas cidades paulistas, podem não demonstrar, mas sem dúvida insinuam, que é possível a todo um Estado subsistir e evoluir com dinamismo, tendo abastecimentos de água nas últimas classes da N.B.F.U., sem que um curioso consiga encontrar um exemplo de as chamadas temíveis conflagrações. E sem que os seus cidadãos, desde as camadas mais cultas até as menos cultas, tenham um senso comum que os coaja a resguardar a própria casa, mediante o recurso inevitável do seguro. Em contraposição,

a conflagração que assolou Brasília (\*), após pouco tempo de existência, em sua comunidade não menos brasileira representada pela Cidade Livre, constitui advertência que não pode passar despercebida, quanto à insensatez de se colocarem, sêres humanos, a vivêr sob aquela contingência que se cognominou de "far west brasileiro".

e) O contrôlo dos incêndios, como problema de comunidade, deve ser baseado em medidas preventivas. Estas compreendem, fundamentalmente, a observância de boas normas de urbanismo, de construção e de ocupação dos edifícios, bem como a observância de boas normas de higiene e segurança dos locais de trabalho. O sistema público de abastecimento de água deve ser interpretado como um dispositivo valioso, mas complementar, do qual se deve tirar todo o partido que seja possível. Este particular, diante da feição revelada pelo problema brasileiro de incêndios, vem corroborar a recomendação de as cidades nacionais obedecerem a um saneamento urbano, pois, nestas condições, edifícios com certas ocupações comerciais ou industriais, em número relativamente pequeno mas

(\*) Noticiada largamente pelos jornais de 20 e 21 de maio de 1960.

econômicamente importantes e causadores potenciais de grandes incêndios localizados, poderão suportar ou justificar o encargo de uma rê de local dimensionada por fator oneroso ligado à conveniência.

Adenda.- Já tínhamos redigido êste Capítulo, quando uma nova conflagração veio a acometer a Cidade Livre, fortalecendo as nossas conjecturas a respeito dessa comunidade que, desventuradamente, está se prestando como centro de experimentação. O noticiário dado pela imprensa, permite-nos discernir a predileção com que o incêndio, pela sua dramaticidade, constitui as assunto para "manchetes" ou para comentários, talvez conduzindo, na imprecisão de dados esta tísticos, a apreciações para mais; permite-nos também um vislumbre sôbre como o seguro vai se valorizando; permite-nos, outrossim, notar a reação da sociedade local, exigindo obras a se rem providas pelo podêr público, ao mesmo tempo que alheando-se da solução verdadeira, que seria uma reconstrução radical do que foi mau edificado. Pelos ensinamentos que trazem em seu bôjo, julgamos oportuno transcrever, a seguir, trechos avulsos dos jornais Fôlha de S.Paulo e O Estado de São Paulo, respectivamente de 11 e 12 de julho de 1960.

"O sinistro de ontem é o segundo de grandes proporções que se registra na Cidade Livre, depois da inauguração da nova Capital!"

"Iniciando por volta das 6 horas da manhã, e encontrando material de fácil combustão - construções tôdas de madeira - o fogo espalhou-se rapidamente. Em menos de duas horas, as labaredas destruíram uma farmácia, o Comitê do Movimento Popular Pró- Janio Quadros, uma grande loja de artigos domésticos, uma loja de tecidos, uma clínica particular, dotada, inclusive, de aparelho de raios X, um atelier de fotografia, um bar, uma mercearia e um escritório de advocacia!"

"Vítima do incêndio, morreu carbonizado o Sr. Domingos Pepe, que dormia num quarto situado nos fundos dos Estabelecimentos Belavi, onde o fogo teve origem. Domingos Pepe era irmão do diretor-gerente daquele estabelecimento comercial - um dos maiores da Cidade Livre. Casado, tinha seis filhos e chegou a Brasília há quatro dias, a fim de tentar aqui se radicar. Durante os trabalhos para debelar o fogo, quatro pessoas ficaram feridas, tendo sido internadas".

"O incêndio foi descoberto por acaso: o vigia da torre da guarnição do Corpo de Bombeiros de Brasília, por volta de 5,30 h de ontem, percebeu sinais de fumaça na direção da Cidade Livre, e mandou uma guarnição fazer a verificação, constatando esta que o incêndio assumia grandes proporções. Iniciou-se então a luta contra as châmas, com a participação de dezenas de moradores daquele núcleo. Até os carros-pipas, que habitualmente são utilizados para molhar as ruas da Cidade Livre, foram requisitados para fornecer água aos bombeiros".

"Enquanto os bombeiros e voluntários tentavam debelar o fogo, os religiosos que dirigem o Ginásio e Escola Técnica de Comércio Brasília procuravam retirar as mercadorias e móveis dos estabelecimentos que estavam sendo queimados. Neste trabalho, os religiosos foram auxiliados por escoteiros do Grupo Coronel João Ferreira Leal, de Ribeirão Preto, que estavam acantonados numa das dependências daquele estabelecimento de ensino".

"De todos os estabelecimentos destruídos, apenas quatro estavam segurados e por valor ir

risório: o estabelecimento Bela Vista, com grande volume de vendas a crédito, e cujo prejuízo é avaliado em cerca de 20 milhões de cruzeiros por seu proprietário, só estava segurado em 3 milhão ; o atelier fotográfico, em 1,5 milhões; a loja de tecidos, em 2 milhões e a clínica médica, em 1 milhão"

"Em sinal de solidariedade aos comerciantes prejudicados, o Serviço de Altofalantes local substituiu seu programa normal por músicas fúnebres".

"Os habitantes da Cidade Livre deverão reafirmar ao presidente da República o pedido feito na semana passada, no sentido de adoção de providências concretas e urgentes para a urbanização daquele núcleo. O incêndio registrado domingo último no Núcleo Bandeirante concorreu para aumentar a tensão dos seus habitantes, que se mostram dispostos a exigir a promessa do govêrno de urbanizar a Cidade Livre, dando-lhe condições da habitabilidade e meios para prevenção de incêndios".



## 2- Sobre a segurança no fornecimento

2.1- Ao se estabelecerem critérios para projeto da rede de água, será necessário definir, ao mesmo tempo, padrões de segurança a serem exigidos do sistema, em face da ocorrência de previsíveis estados de emergência. Isto é, deverão ser judiciosamente preconizadas quais as sobrecargas ou estados anômalos admissíveis para a obra e, em face dos mesmos, deverão ser racionalmente especificadas as condições mínimas de comportamento do sistema a ser projetado.

Ao serem demarcados os aludidos estados de emergência, recomendamos que sejam ponderados, especialmente, os quatro casos enunciados a seguir.

2.1.1- Interrupções anormais no funcionamento de partes do sistema situadas à montante dos órgãos de reservação - distribuição.

2.1.2- Interrupções do escoamento em linhas distribuidoras.

2.1.3- Demandas extraordinárias para combate a incêndios.

2.1.4- Demandas extraordinárias para atender populações transitórias (consumidores em quantidade sensível, cuja estada no local é passageira e esporádica).

2.2- O fornecimento satisfatório de água, ao longo da rede, nos estados de emergência, condiciona-se geralmente a dois requisitos:

- a) localização e dimensionamento apropriados de reservatórios;
- b) traçado e dimensionamento adequados da rede.

### 2.3- Reservatórios

2.3.1- O volume necessário à finalidade em aprêço ficará na dependência de especificação de duas condições de mínimo:

- a) duração do estado de emergência admitido como crítico;
- b) vazão de distribuição no decorrer des se intervalo de tempo.

2.3.2- Quanto à localização dos reservatórios, no que possa interferir na fixação das vazões de distribuição, distinguimos dois casos:

- a) reservatórios públicos;
- b) reservatório domiciliários.

Estes últimos têm sido instalados, com muita generalidade, como complemento aos primeiros, sob a justificativa de proteção do consumidor contra faltas d'água, em face da prevalência dos estados de emergência discriminados, acima, em II-2.1.1 e II-2.1.2 (\*). Sob tal hipótese, constituem solução sanitariamente condenável, pois pressupõem a persistência crônica de funcionamento intermitente da rêde, situação essa propiciadora de contaminação por atuação de vácuo parcial. Ainda que se leve, a seu crédito, o desagravante indubitavelmente valioso de, em tais circunstâncias, evitarem a transmissão do vácuo parcial aos aparelhos sanitários e, ainda, possibilitarem certa ventilação da rêde pública.

---

(\*) Usaremos êste sistema de notação para referência ao nosso texto, indicando o capítulo (algarismo romano) e o item respectivo.

Outrossim, considerados simplesmente como dispositivo de segurança para o fornecimento, os reservatórios domiciliários representam, para a comunidade, uma solução de vantagens econômicas discutíveis. Com efeito. êles acarretam um aumento de custo nas instalações prediais, não só devido ao dispêndio de aquisição e assentamento do reservatório e de seus órgãos acessórios, como ainda, devido à maior extensão de canalizações exigida pelo sistema indireto de distribuição predial. A somatória desses aumentos de custo, estendida a t<sup>o</sup>da a comunidade, merece ponderação em face da melhor segurança que porventura possa ser alcançada através de melhoria do sistema público de abastecimento, mediante o emprêgo do mesmo capital.

Ademais, um critério de segurança apoiado no reservatório domiciliário redundando em dispersão dos volumes armazenados disponíveis. Estes mesmos volumes, se concentrados em reservatórios públicos convenientemente localizados, poderão vir a proporcionar uma operação muito mais flexível e eficaz na eventualidade de emergências, especialmente em se tratando de incêndios.

A localização dos reservatórios públicos, por sua vez, é um problema intimamente ligado ao traçado da rêde.

#### 2.4- Traçado e dimensionamento adequados da rêde.

2.4.1- Entre, os fatôres básicos para consecução da segurança no fornecimento, incluem-se o traçado e o dimensionamento adequados da rêde . Compreendem linhas tronco, linhas secundárias, registros, "boosters" e outros. Não interferem, porém, na fixação das vazões de distribuição. Estas é que constituem um de de seus elementos determinantes. Não obstante, consideramos oportuno um breve comentário sôbre o assunto.

2.4.2- Para o projeto de suas rêdes públicas de distribuição de água, os norteamericanos têm em regra preconizado, como condição crítica de cálculo, a atuação simultânea de vazões de distribuição ordinárias e vazões de distribuição demandadas para combate a incêndios. Não têm admitido a hipótese que, ao mesmo tempo, ainda ocorram os estados de emergência configurados em II-2.1.1 e II-2.1.2, por

considerarem que a probabilidade de um tal evento não justifica o ônus requerido para a sua precaução.

Aos seus projetistas se impõe, consequentemente, a condição da rede suportar, além de consumos ordinários, vazões substanciais de combate a incêndios, a serem concentradas em qualquer ponto em que êstes possam ocorrer. E, para os pontos de alimentação mais difícil, aceita-se que o atendimento dessas vazões acarrete um certo prejuízo nas condições hidráulicas de suprimento dos consumos ordinários. Isto é, tolera-se uma depressão extraordinária na superfície piezométrica, mas limita-se essa depressão mediante uma condição de mínimo para a pressão dinâmica remanente. Trata-se, pois, de uma especificação que claramente estipula um grau de segurança a ser atingido, em função de um estado de emergência nitidamente caracterizado.

Por fôrça de tais condições, a concepção de linhas tronco, com traçado em anéis ou circuitos fechados, aparece como uma resultante, dada a injunção de se fazer circular, com flexibilidade, uma considerável vazão requerida por um incêndio a eclodir algures sôbre a cidade.

As múltiplas posições imagináveis para o incêndio, a par da dificuldade de predição imediata dos conseqüentes comportamentos hidráulicos da rêde, fazem com que um mesmo traçado seja calculado múltiplas vêzes e que vários traçados sejam comparados entre sí, para se chegar à concepção final de projeto. Sob tal contingência, evidenciam-se, com naturalidade, as vantagens de certos métodos de análise para o dimensionamento da rêde, como o de Hardy Cross e os de Mc Ilroy.

2.4.3- Entre nós, temos presenciado, com freqüência, discussões sôbre vantagens de certos métodos de análise e de traçados que a êles estariam vinculados. Em especial, discussões que intitularíamos: Método do Seccionamento versus Método de Cross.

Somos de opinião que, diante das nossas atuais normas e especificações omissas, tais discussões são absolutamente estéreis, porquanto incapazes de conduzir a conclusões convincentes, uma vez que envolvem argumentações baseadas em grandezas heterogêneas, para as quais não se estabeleceu um têrmo comum de comparação. De fato, aduz-se que o Método do Seccionamento é mais econômico, porque resultam-lhe me-

nores custos de construção da rêde, sem se atentar para a importância relativa dos consumos e das situações a serem atendidos. Forçoso seria concluir-se, por uma lógica assim simplificada, que o projeto ideal fôsse aquele que conduzisse a um custo de construção igual a zero, ou seja, aquele que preconizasse a não construção da rêde. Assevera-se, de outro lado, que o Método de Cross é mais vantajoso, porque proporciona maior segurança no fornecimento, sem se esclarecer o grau de segurança pretendido. Se maior segurança, por sí só, fôsse motivo bastante para preferência, então seríamos levados ao extremo oposto, na nossa busca ao projeto melhor. Anéis, calculados pelo Método de Cross, assim padecentes de normas definidas que caracterizem o seu objetivo, comumente têm um ou mais segmentos com diâmetro arbitrariamente adotado como superior ao diâmetro mínimo, por fôrça de um sentimento que indica a conveniência de se fecharem tais circuitos com linhas de diâmetro significativo..É um aumento de custo, possivelmente conveniente, objetivando dar, à "estrutura hidráulica", capacidade para suportar "sobrecargas", geralmente de natureza "móvel", ocorrentes em estados de emergência. Mas, é um aumento de custo que pode permitir intermináveis discussões de projetistas, entre sí ou com a fiscalização do projeto,



e o que é pior, discussões sôbre a mesma contro  
vérsia, em cada projeto; comumente acrescentam  
se, ainda mais, discussões sôbre limites míni-  
mos e máximos que deveriam ser obedecidos, quan-  
to ao tamanho (e número) de anéis. Isto por-  
que, embora louvável em seus propósitos, é um  
aumento de custo baseado em conceito subjetivo  
de segurança, sem garantia de solução econômi-  
ca para um problema devidamente caracterizado,  
enquanto introduzido sem especificações pré-  
vias que individualizem os estados de emergên-  
cia de importância significativa e que preconizem os níveis de tolerância admissíveis ao se  
enfrentá-los.

Essas especificações oferecem, a nosso  
vêr, um tema para estudos, dos mais necessá-  
rios, a ser focalizado em precedência às polê-  
micas sôbre métodos de dimensionamento das rê-  
des. Tendo em conta as diferentes situações en-  
contradas em cidades ou setores de cidades  
brasileiras - principalmente sanitárias, econô-  
micas e financeiras - a aconselharem diferen-  
tes critérios de projeto, prognosticamos a con-  
veniência de essas especificações serem conju-  
gadas a classes de rêde, classes essas sistemà-  
ticamente definidas em um corpo de norma. Aliás,  
esta orientação encontraria paralelo em outros  
setores da engenharia, como por exemplo, no pro

jeto de pontes de concreto armado, conforme se verifica nas normas brasileiras NB-2, Art. 6 e NB-6 (33). Pressupomos, assim, classes de rêde satisfazendo, por exemplo, diferentes mínimos de capacidade perante solicitações causadas por incêndios; classes de rêde sem requisito predominante de proteção contra incêndio, mas com exigência sanitária de um mínimo de pressão dinâmica, na eventualidade de interrupção do escoamento no ponto mais desfavorável de uma linha tronco; e assim por diante. Antevendo, por outro lado, as conseqüências previsíveis do deseenvolvimento de uma comunidade, podemos desde já alvitrar o mérito de concepções de projeto que, permitindo à rêde satisfazer economicamente às condições mínimas de sua classe inicial, ainda propicie sua acomodação harmônica a classes subseqüentes, mediante ampliações bem planejadas; sob êste ponto de vista, acreditamos que, concepções baseadas em anéis poderão, nos casos gerais, conduzir a soluções mais vantajosas.

### 3- Sôbre o regime de fornecimento

3.1- Uma série de fatores concomitantes acarreta variabilidade nas vazões solicitadas instantan

tâneamente pelos consumidores. É um fato a ser considerado, desde que temos de fornecer, continuamente, água em quantidade suficiente.

Três regimes de fornecimento podem ser examinados, como solução para o problema, conduzindo a três critérios para projeto da rêde. Cada um dêles tem vantagens e limitações, o que torna conveniente ou então inevitável a sua adoção, nesta ou naquela cidade ou setor de cidade. Em tal escolha, constitui fator importante a natureza dos edifícios presentes, quanto ao número máximo de pavimentos e ao consumo máximo por prédio. É aconselhável, pois, em futuras normas e especificações para projeto de rêdes públicas de distribuição de água, uma sistematização judiciosa das condições mínimas a serem consideradas pelo projetista, as quais deverão norteá-lo na decisão sôbre o regime de fornecimento que condicionará o seu projeto.

### 3.2- Regime sem regularização.

Neste caso, a alimentação das instalações prediais é feita diretamente pela rêde pública. Não há de permêio, reservatório regularizador de vazão.

Conseqüentemente, para o projeto da rêde pública, o cálculo das vazões de distribuição deverá levar em conta as variações instantâneas das demandas de água nas instalações prediais.

Entre nós, em têrmos gerais, êste regime tem sido considerado como o desejável, conforme se depreende da legislação estadual (2)-citada em I-1 - e, também, da Norma Brasileira, em Estágio Experimental, para Instalações Prediais de Água Fria (34, p. 14).

### 3.3- Regime com regularização

Trata-se do caso em que as instalações prediais são dotadas de reservatórios próprios, a partir dos quais se faz a alimentação dos pontos de consumo. Por êste sistema, o fornecimento de água, pela rêde pública, é feito em reservatórios prediais, de tipo superior ou inferior. Na alternativa de reservatório inferior, há, na instalação predial, um dispositivo elevatório.

Resultam, para o projeto da rêde pública, vazões de distribuição afetadas por ação regularizadora, ação essa que pode ser conside

rada como outro objetivo do reservatório domiciliário.

### 3.4- Regime misto

Abrange três casos:

3.4.1- Regime, com regularização, para um certo número de prédios; e, sem regularização, para os prédios restantes;

3.4.2- Regime, com regularização, para certos pontos de consumo de cada prédio; e, sem regularização, para os pontos de consumo restantes;

3.4.3- Regime abrangendo uma combinação dos dois casos anteriores.

Nos três casos, as vazões de distribuição, para o projeto da rede pública, deverão levar em conta demandas condicionadas por regularização e variações imediatas do consumo.

## 4- Apêndice

4.1- A questão dos reservatórios domiciliários

assume, para nós, importância especial, devido à sua interveniência no cálculo das vazões de distribuição e devido ao seu emprêgo arraigado em nossas cidades. A propósito, regulamento recente da maior cidade brasileira, refletindo - circunstâncias do sistema público de distribuição, estabelece categoricamente em seu Art.15: "Nenhum prédio será abastecido diretamente pela rêde distribuidora, sendo o suprimento regularizado sempre por um ou mais reservatórios de capacidade global igual ou superior ao consumo diário estimado" (35). Sem dúvida, a questão, já muito discutida, ainda consumirá muito do precioso tempo de nossos técnicos, no afã de encontrarem a orientação mais conveniente para as nossas comunidades.

4.2- Na oportunidade oferecida pelo presente trabalho, decidimos empreender uma pesquisa através da literatura técnica, tendo em vista encontrar dados concretos, baseados em investigações de nível científico, a respeito de vantagens sanitárias dos reservatórios domiciliares.

Um estudo específico, dentro dessa idéia, foi realizado há quatro anos passados, em

Marselha, na França, por Gevaudan e Gay (36), os quais o publicaram sob o título expressivo seguinte: Enquête sur un moyen archaïque de distribution d'eau de consommation.

Em razão da grande importância do problema e da similitude com que as condições e conclusões daquele estudo podem reverter ao nosso caso, vamos registrar, neste apêndice, partes fundamentais da mencionada publicação.

Marselha é abastecida por um rio, cuja água captada é aduzida por meio de um canal a céu aberto de 80 km de extensão. Uma parte da água é simplesmente clorada e distribuída a certos arrabaldes. A outra parte, potabilizada em duas estações de tratamento, com filtração e desinfecção, é fornecida à cidade.

a) O problema é apresentado, pelos autores, da seguinte forma: "Pour les besoins domestiques, depuis toujours, l'eau est distribuée aux usagers par l'intermédiaire de "caisses à eau". Sortes de réservoirs situés au sommet des habitations, ces "caisses" sont alimentées en permanence et munies d'une surverse branchée sur l'évacuation des eaux résiduaires, ce qui entraîne un important gaspillage.

Ces réservoirs archaïques sont, à l'heure actuelle, devenus inutiles dans la zone urbaine. En effet, s'ils constituaient autrefois des réserves d'eau utilisables pendant le chômage du canal, ils ne jouent plus ce rôle maintenant, puisque le réseau urbain dispose de réserves en suffisance pour assurer une alimentation continue d'eau potable pendant les périodes de chômage du canal, périodes qui ne dépassent jamais soixante heures. Actuellement, ces réserves personnelles ne sont nécessaires que pour les habitants des banlieues où les réseaux de distribution sont alimentés directement sur le canal et ne disposent d'aucun réservoir, sauf rarissime exception.

Dans un esprit critique, on doit reconnaître que dans bien des cas, ces "caisses à eau" sont très mal entretenues ou pratiquement abandonnées. Dans ces conditions, elles constituent des réceptacles pour toutes sortes de résidus, et l'on conçoit donc que leur généralisation sur un réseau d'eau potable puisse être sujette à des nombreuses critiques.

C'est pourquoi, il nous a paru intéressant de préciser dans quelle mesure, ce système de distribution par l'intermédiaire des



"caisses à eau" pouvait être encore admis ou rejeté"

b) Os autores investigam, separadamente, a influência das "caisses à eau" na rêde de água bruta clorada e na rêde de água filtrada e desinfetada. As conseqüências advindas para a qualidade da água, são examinadas no que diz respeito à temperatura, pH, cloro livre e flora microbiana. Para o nosso problema, interessam as conclusões sôbre a influência dos reservatórios domiciliários na rêde de água filtrada e desinfetada, quanto à variação da flora microbiana. Vejâmo-las.

"A la sortie des usines et sur l'ensemble du réseau, les analyses révèlent une eau bactériologiquement potable. Une flore aérobie assez pauvre existe, mais elle n'est jamais accompagnée des germes que l'on estime d'origine fécale.

C'est dans ce cas (Variation de la Flore Microbienne) que le rôle néfaste de la "caisse à eau" apparaît avec le plus de netteté. Ces réservoirs sont, en effet, souvent très négligés. Parfois situés au faite des immeubles, sans aucun courvercle, ils sont soumis

à la contamination par les poussières de la ville les jours de grand vent, ainsi qu'à la pollution par les oiseaux. Il est à noter que dans les combles des immeubles mal entretenus où des rongeurs pullulent, on peut relever des pistes de rats sur les bords de ces réservoirs.

Les analyses confirment éloquemment ce rôle déplorable des caisses. On compte, en effet, que 15% des caisses favorisent une pollution notable de l'eau, dont l'analyse initiale révélait la potabilité bactériologique. Dans le tableau, on pourra voir dans quelles proportions les germes d'origine fécale interviennent dans la pollution des "caisses à eau" selon que celles-ci sont extérieures ou intérieures, fermées ou ouvertes.

Ainsi, dans le secteur du réseau d'eau conditionnée pour la consommation humaine, la "caisse à eau" apparaît avec deux inconvénients majeurs qui lui ôtent le caractère d'utilité qu'elle présente incontestablement dans le réseau d'eau brute.

Pourcentage de Caisses Polluées dans le Réseau  
d'Eau Filtrée et Stérilisée

Nature des Caisses		Microbes Intervenant dans la Pollution			
		Aérobies a 37°	Esch.Coli	Colif.	Cl.Perfrin - gens
Caisses ouver- tes	Ext.	63%	33%	45%	9%
	Int.	61%	16%	16%	5%
Caisses fermées	Ext.	68%	12%	-	12%
	Int.	58%	-	-	56%

En premier lieu, elle ne joue plus aucun rôle favorable dans la chloration de l'eau. En second lieu, elle est un facteur de pollution supplémentaire très notable."

c) Discutindo diretrizes para o encaminhamento racional do problema, os autores se manifestam da forma seguinte.

"Les "caisses à eau" telles qu'elles sont conçues actuellement à Marseille, s'étant avérées dans certains cas, un facteur de pollution de l'eau dite "potable", quelles sont les solutions que l'on pourrait apporter au problème qu'elles posent ?

Deux solutions peuvent être envisagées:

- 1<sup>o</sup> Leur modification
- 2<sup>o</sup> Leur suppression.

1<sup>o</sup>- Modification des "Caisses à Eau"

A la vérité, le système des "caisses à eau" pêche surtout du fait qu'elles sont mal protégées contre les souillures extérieures.

Il est évident que l'on pourrait concevoir des réservoirs bien fermés construits en béton armé, dont l'intérieur vitrifié n'aurait aucune action chimique sur l'eau. Pour éviter les pertes d'eau et le gaspillage, de tels réservoirs pourraient être utilement dotés de robinets d'arrêt à flotteur.

Mais une telle organisation nécessite une part de surveillance importante, qu'il est difficile de demander aux habitants des grands immeubles et que l'on voit aussi rarement réalisée par les petits propriétaires.

La solution rationnelle, serait leur suppression.

## 2°- Suppression des "Caisses à Eau"

C'est vers cette solution que la Société des Eaux oriente sa politique actuelle. Cependant, on se heurtait jusqu'ici dans ce domaine à de multiples difficultés.

L'une des plus importantes était d'ordre technique. En effet, le vieux réseau de distribution ne comportait pas de bassin couvert susceptible d'emmagasiner des réserves d'eau filtrée. Ces réserves étaient indispensables pourtant pour assurer un volant de sécurité pendant les arrêts momentanés du canal.

Pour pallier ces inconvénients, des travaux récents ou en voie d'achèvement, ont permis l'édification, en des points socialement étudiés, d'importants réservoirs fermés d'eau filtrée et stérilisée, l'un de 18 000 m<sup>3</sup>, l'autre de 7 000 m<sup>3</sup>, à Saint-Barnabé, enfin un troisième, Lacédémone, de 38 500 m<sup>3</sup> auxquels vont venir très prochainement s'ajouter d'autres unités. Par l'édification successive de tels dispositifs, il sera possible de doter la ville d'un réseau moderne de distribution.

Mais il existe aussi des difficultés d'ordre psychologique qu'on aurait tort de sous-

estimer. En effet, les progrès techniques dont nous avons parlé ne s'accompagnent pas d'une évolution simultanée des idées parmi les consommateurs. Ces derniers sont encore hantés par les risques si désagréables de chômage et ils voient dans les "caisses à eau" la réserve familiale qui leur permettrait, avec plus ou moins de chance, de franchir le cap du chômage. D'autre part, il faut bien le dire, la perspective de la pose des compteurs ne sourit pas aux usagers qui, jusqu'à présent, ont ignoré les volumes d'eau qu'ils utilisent. Chacun se repose paisiblement à l'idée qu'il consomme un certain nombre de modules, ce qui n'a qu'une vague signification.

A la suite de cette étude, il apparaît qu'à son origine l'organisation technique du système de distribution d'eau de Marseille a nécessité l'utilisation des "caisses à eau" et que celles-ci rendent encore d'incontestables services dans les secteurs de distribution d'eau brute simplement chlorée. Par contre, dans les parties de la ville où de grandes réserves d'eau potable ont pu être constituées, il y aurait intérêt à voir disparaître ce système archaïque au profit de la distribution sous pression par l'intermédiaire de compteurs, car l'emploi des "caisses à eau" n'y est plus jus-

tifié."

4.3- Na literatura técnica italiana, encontramos a apresentação do cálculo da rede pública de distribuição dando-nos a entender o propósito de dispensar o uso generalizado de reservatório domiciliário. No entanto, na parte referente a instalações hidráulicas prediais, depa<sup>u</sup>ramos com o dito dispositivo, tratado em porme<sup>u</sup>nores, fazendo-nos entrever uma realidade diferente.

Em particular, Gallizio (37, p. 10) e Mistrangelo (38, p.64) descrevem que, na ligação predial, é intercalado um aparelho de "misurazione", geralmente constituído por um hidrômetro ("contatore") ou por uma pena d'água ("lente idrométrica"). Esta última, necessariamente conjugada a um reservatório localizado no edifício. Mas, comentando a "somministrazione d'acqua a lente idrométrica", é o próprio Gallizio quem escreve as afirmativas transcritas abaixo.

"Un primo inconveniente di questo sistema è di indole igienica. Per quanto ogni appartamento sia munito di una presa dalla quale si può erogare acqua proveniente di-

rettamente (o "semi-direttamente") dall'acquedotto, rimane pur sempre il pericolo che l'utente o per errore o per inconsapevolezza, beva acqua proveniente dai serbatoi, cosa assolutamente antigienica per la facilità di inquinamento cui rimane soggetta l'acqua in essi immagazzinata."

"Il secondo inconveniente è rappresentato dal costo e dalla complicazione dell'impianto."

"Un terzo inconveniente di questo sistema è portato dal fatto che molta acqua si spreca attraverso il sopravanzo dei serbatoi, specialmente nelle ore notturne e nei giorni di non utilizzazione per assenza dell'utente."

"Per quanto sanitariamente ed economicamente da condannarsi, questo sistema di somministrazione d'acqua sussiste ancora in varie città d'Italia (Catania completamente, Genova e Roma parzialmente ecc.), avendo a fattore principale d'insostituibilità la scarsa pressione dell'acqua nell'acquedotto cittadino, insufficiente a sopporre alle perdite di carico richieste da



una distribuzione interna a pressione per gli edifici che richiedono erogazioni d'acqua a quote relativamente alte."

4.4- Finalmente, mais pelo seu aspecto pitoresco, vamos consignar, a seguir, o que escreve L. B. Escritt, engenheiro civil e sanitariaista inglês dos mais conhecidos, no décimo livro de sua autoria (39, p.34).

"There are some differences of opinion as to whether storage cisterns are required when <sup>water</sup> is supplied from company's main. Storage is undoubtedly necessary to private water supplies because the cistern is then the equivalent of a service reservoir which is necessary to a company's supply. When water is pumped from a well it must be pumped into a tank to balance the differences between pumping rate and demand.

These differences should have been balanced in a company's supply, and therefore if the supply from the mains is constant and adequate no private storage cistern should be necessary. Storage cisterns are, in fact, almost peculiar to Great Britain, being,

most probably, a relic from the times when company's supplies were inadequate for the greater part of the day.

A small storage tank is required as a service tank to a hot-water or heating system so as to supply constantly low-pressure water. But water-closets and all cold-water taps can be satisfactorily supplied direct from mains pressure.

Present-day practice varies in that a number of North Country water authorities prefer the omission of cisterns on the grounds that they are frequent causes of pollution; whereas many other authorities and Model Byelaws insist on moderate storage."

### III- CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM REGIME DE FORNECIMENTO SEM REGULARIZAÇÃO.

#### 1- Conceituação do problema

Sob regime sem regularização, a rede pública é instada a fornecer, num momento genérico, uma vazão constituída pelas parcelas seguintes:

- a) soma das vazões das peças de utilização que estejam em operação nesse momento;
- b) soma das demandas instantâneas oriundas de vazamentos causadores de perdas.

Essa vazão global é variável de instante para instante, podendo atingir um valor crítico a ser assumido como condição mais desfavorável de cálculo. Tal valor representará a vazão de distribuição a ser aplicada no projeto da rede pública.

Designamos, por peças de utilização, seguindo terminologia da A.B.N.T. (34), aos dis-

positivos normalmente usados pelos consumidores para utilização da água em bacias sanitárias, banheiras, bebedouros, chuveiros etc. Visando simplicidade, no presente trabalho, a êles também nos referiremos com o termo - peças.

Em sentido lato, estamos conceituando os hidrantes entre as peças de utilização. Entretanto, por conveniência de cálculo, as solicitações atribuíveis a hidrantes deverão ser computadas separadamente, uma vez que se referem a vazões grandes, concentradas em um número relativamente pequeno de pontos, com localização e uso condicionados a situações merecedoras de estudo especial.

A vazão solicitada à rede pública, num instante genérico, é, assim, um evento decorrente de fatores de utilização e de fatores de perda.

Os fatores de utilização subordinam-se a necessidades e hábitos peculiares à comunidade e, também, a características das peças de utilização.

Os fatores de perda são condicionados a características físicas do sistema, que por

sua vez dependem da qualidade de construção e manutenção das instalações públicas e particulares.

Como fator determinante da vazão de distribuição, uma peça de utilização é caracterizada por dois parâmetros:

- a)- a sua vazão de operação;
- b)- a sua probabilidade de estar em uso num instante qualquer.

Nestas condições, independentemente do seu nome particular, diremos que duas peças de utilização são de mesmo tipo quando tiverem a mesma vazão de operação. Diremos que são de mesma categoria quando tiverem a mesma probabilidade de uso. E diremos que são equivalentes quando forem de mesmo tipo e de mesma categoria.

No projeto de rêsdes públicas de distribuição de água, o segmento unitário de canalização, a ser dimensionado, é o trecho. Definido como o segmento compreendido entre dois nós consecutivos ou entre um terminal e o nó mais próximo ou, ainda, entre um nó ou um terminal

e um ponto da rēde onde se processe uma alimentação ou uma demanda localizada de valor considerável. Caracteriza-se o nó como todo ponto onde há conexão de duas ou mais tubulações da rēde. Terminal ou ponta seca é uma extremidade fechada. Excepcionalmente, um trecho assim definido, abrangerá uma extensão de várias frentes de quarteirão, podendo então ser, convenientemente, subdividido em trechos menores. De um modo geral, cada trecho destina-se ao abastecimento de duas frentes de quarteirão, frentes essas correspondentes aos dois lados da rua. Dessa maneira, se considerarmos, em média, um quarteirão típico de 100 metros por 100 metros - medidos pelos eixos das ruas de contorno - com densidade demográfica de 100 habitantes por hectare e um número de habitantes por prédio igual a 5, resultarão uma extensão de trecho de rēde igual a 100 metros, um número de habitantes abastecidos por trecho igual a 50 e um número de prédios abastecidos por trecho igual a 10, cada prédio contendo várias peças de utilização. Estes números nos revelam, desde já, a ordem de grandeza dos mínimos de habitantes ou de prédios ou de peças de utilização que presidirão o cálculo das vazões de distribuição, uma vez que tal cálculo destinar-se-á ao dimensionamento de um ou mais trechos.

## 2- Seqüência de análise do problema

Dada a complexidade inerente aos fatores de utilização, julgamos vantajoso analisar, inicialmente, um caso de rêde submetida apenas a êsses fatores, sob condições simplifi-  
cadas.

É o que veremos na parte III-3, seguinte, na qual examinamos o caso de rêde onde tôdas as peças de utilização são equivalentes.

A seguir, procuramos analisar casos típi-  
cos ocorrentes na prática, por assimilação a essa rêde, considerada como fictícia, adaptando-a devidamente como se fôra um modelo. Assim fazendo, procuramos deixar claros os respectivos fundamentos do método de cálculo utilizado, tendo em vista:

- a) possibilitar estudos ulteriores de sua aplicação a situações particulares que aqui não foram consideradas;
- b) expor a natureza dos dados e das equações que caracterizam o problema, de forma que o método possa ser obje-

to de pesquisas e, certamente, de aperfeiçoamento, por parte de estudiosos não pertencentes ao campo do Abastecimento Público de Água mas especializados nos meios de que tivemos de lançar mão ao tentarmos atingir o nosso objetivo.

### 3- Vazões de distribuição em rêdes com peças de utilização equivalentes.

#### 3.1- Hipóteses de cálculo.

Consideremos uma secção de um trecho genérico da rêde. Por essa secção deverá passar uma vazão destinada ao abastecimento de um número  $R$  de prédios situados à jusante, ao qual corresponde um número  $H$  de habitantes.

Designemos por  $n$  ao número de peças de utilização suscetíveis de uso nos  $R$  prédios, para as diversas operações em que há consumo de água.

Admitamos, no caso, que as peças funcionem com independência entre si; que a vazão de operação seja a mesma para tôdas as peças



e igual a  $q$ ; que a probabilidade de estar em operação, num instante casual, seja a mesma para tôdas as peças, e constantemente igual a  $p$ ; e que a vazão ocorrente em um instante qualquer, na secção genérica em referência, seja exatamente igual à soma das vazões de operação das  $x$  peças que estejam em funcionamento simultâneo nesse instante, sendo  $x$  um número inteiro compreendido entre zero e  $n$ .

### 3.2- Expressão da vazão de distribuição.

A vazão de distribuição,  $Q$ , a ser usada para o dimensionamento da secção em consideração, será expressa por:

$$Q = m \cdot q \quad (\text{III.1}) (*)$$

onde  $m$  é um particular valor de  $x$  que definiremos como sendo o número máximo provável de peças em funcionamento simultâneo, dentre as  $n$  suscetíveis de uso na ocasião.

---

(\*) Enumeraremos as fórmulas mediante colocação, entre parêntesis, do seu número de ordem precedido da indicação do respectivo capítulo (algarismo romano).

O valor de  $Q$  será assim definido como a vazão máxima provável a ser solicitada pelas  $n$  peças, ou seja, pelos  $R$  prédios, ou ainda, pelos  $H$  habitantes.

A determinação de  $m$  será feita por um critério probabilístico, em função de um grau de segurança que adotaremos como satisfatório. Admitiremos que, das  $n$  peças, é provável que no máximo  $m$  sejam solicitadas simultaneamente, quando a probabilidade de uso simultâneo de um número qualquer superior a  $m$  fôr igual a apenas 1%. (Considerações adicionais, em III-3.6.1).

### 3.3- Equação da distribuição de probabilidades

Para o cálculo de  $m$ , temos de considerar a distribuição das probabilidades de  $x$ , sendo  $x$  a variável representativa do número de peças em uso simultâneo, ou seja, do número de suc es.

Como consequência de nossas hipóteses de cálculo, a probabilidade  $p_x^n$  de que  $x$  é apenas  $x$  peças, dentre as  $n$  presentes, estejam em operação num instante casual de observação, é expressa pela equação seguinte:

$$p_x^n = C_x^n \cdot p^x (1-p)^{n-x} \quad (\text{III.2})$$

onde  $C_x^n$  representa o número de combinações de  $n$  elementos  $x$  a  $x$ .

Trata-se, pois, de uma distribuição de Bernoulli ou binomial. (Considerações adicionais, em III-3.6.2).

3.4- Formulação do número máximo provável de pe gas em uso simultâneo.

Em conformidade com a sua definição, e diante da variação discreta de  $x$ , a grandeza  $m$  é expressa, quantitativamente, pela seguinte condição:

$$\sum_{x=m}^n p_x^n \geq 0,01 \geq \sum_{x=m+1}^n p_x^n \quad (\text{III.3})$$

onde:

$\sum_{x=m}^n p_x^n$  exprime a probabilidade de um número qualquer de sucessos maior que  $m-1$ ;

$\sum_{x=m+1}^n p_x^n$  exprime a probabilidade de um número qualquer de sucessos maior que  $m$ .

Portanto, desde que conheçamos o valor de  $p$ , poderemos calcular a vazão de distribuição relativa ao trecho genérico da rêde, do seguinte modo:

- a) por meio das expressões (III.2) e (III.3), determinaremos o valor de  $m$ ;
- b) a expressão (III.1) nos dará o valor de  $Q$ .

Admitimos, para tanto, que conhecessemos também os valores de  $n$  e  $q$ .

### 3.5- Formulação e métodos de estimativa do parâmetro $p$ .

3.5.1- Nas expressões acima, a grandeza  $p$  representa a probabilidade de, em um instante de observação, tomado casualmente, encontrar-se uma dada peça em estado de funcionamento. É, portanto, igual à proporção de tempo na qual a peça pode ser esperada encontrar-se em uso; isto é (40, p.331):

$$p = \frac{t}{T} \quad (\text{III.4})$$

onde  $t$  é a duração média de cada uso da peça e  $\frac{1}{T}$  é a frequência média de uso, ou seja, o número esperado de operações por unidade de tempo; assim,  $T$  é o período médio de uso da peça, ou seja, o intervalo médio de tempo entre dois usos sucessivos da peça.

Por meio de amostragem, em que observemos um número suficientemente grande de usos da peça, podemos estimar os parâmetros  $t$  e  $T$  e, portanto, o valor de  $p$ .

3.5.2- Um outro método, para se estimar  $p$ , decorre da correlação perfeita, positiva, entre a vazão,  $Q_x$ , solicitada à rede num instante qualquer e o número total,  $x$ , de peças em uso no mesmo instante, dentre um total de  $n$  peças presentes:

$$Q_x = q \cdot x \quad (\text{III.5})$$

Instalando um dispositivo medidor de vazão na seção de canalização alimentadora daquelas  $n$  peças, podemos obter uma série de valores de  $Q_x$ , capazes de constituir uma amostra representativa. Analisando essa distribuição, podemos calcular o seu parâmetro  $\bar{Q}_x$ , mé-

dia das vazões observadas.

Por outro lado, conforme (III.5), sabemos que cada termo dessa série está associado, através da constante  $q$ , a um termo da série de valores de  $x$ , o que nos conduz a:

$$\bar{x} = \frac{1}{q} \cdot \bar{Q}_x$$

onde  $\bar{x}$  é o número médio observado de peças em funcionamento simultâneo.

Mas, essa série observada de valores de  $x$  deve provir de um universo com distribuição de probabilidades expressa por (III.2). Ora, em se tratando de distribuição binomial, a sua média verdadeira,  $M_x$ , tem a seguinte expressão (41, p. 675):

$$M_x = n \cdot p$$

Da mesma forma, os valores das vazões observadas devem ser provenientes de uma distribuição com média,  $M_{Q_x}$ , dada por:

$$M_{Q_x} = q \cdot M_x = q \cdot n \cdot p \quad (\text{III.6})$$

Sendo  $n$  e  $q$  conhecidos, e havendo uma estimativa de  $M_{a_x}$ , isto é, adotando  $M_{a_x} = \bar{Q}_{xx}$ , resulta-nos uma estimativa para o valor de  $p$ , com o que a binomial fica completamente definida (41, p. 675).

Em particular, se instalarmos um aparelho medidor do tipo hidrômetro, que irá nos dar o volume consumido ao fim de um adequado intervalo de tempo, poderemos estimar a vazão média por meio da relação entre essas duas grandezas.

3.5.3- É oportuno, agora, acrescentar que, segundo a experiência tem mostrado, a demanda de água à rede sofre variações outras além dessa, essencialmente casual, que vimos de analisar. Para os propósitos presentes, interessam duas variações de natureza sazonal(\*), denominadas, respectivamente, variação diária

(\*) Segundo a terminologia de Yule e Kendall (42, p.624), ressaltando que, a seguir, referimo-nos aos "seasonal indices" com a palavra "coeficientes", devido ao uso consagrado em Abastecimento de Água.

e variação horária. A primeira se relaciona, principalmente, às estações do ano e, a segunda, ao horário de atividades dos habitantes.

Nestas condições, na secção de canalização, acima referida, podemos exprimir a vazão média de cada dia como o produto da vazão média anual pelo coeficiente de variação diária respectivo (42, p. 626-627; 43, p.68). A análise dos valores dêsse coeficiente nos indicará o chamado coeficiente do dia de maior consumo, comumente denotado pelo símbolo  $k_1$ .

Da mesma forma, a vazão média ocorrente em cada período do dia, na referida secção, pode ser expressa como a vazão média do dia de maior consumo, multiplicada pelo coeficiente de variação horária respectivo. E, análogamente, iremos ter ao chamado coeficiente da hora de maior consumo, comumente representado pelo símbolo  $k_2$ .

É de se esclarecer, portanto, que a probabilidade  $p$  não se mantém constante ao longo dos dias do ano e das horas de cada dia. O que nos importa, entretanto, dentro da conceituação das fórmulas (III.1) a (III.6), é a análise da distribuição dos valores de  $x$  ou de  $Q_x$ ,



em um intervalo de tempo chamado de hora de maior consumo do dia de maior consumo, durante o qual,  $M_{Q_x}$  e, assim,  $p$ , mantenham-se constantes e iguais os seus valores máximos respectivos. (Considerações adicionais, em III-3.6.3).

Resulta, pois:

$$M_{Q_x} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A \quad (\text{III.7})$$

onde  $Q_A$  é a vazão média anual na secção de canalização em estudo.

3.5.4- Neste ponto, será interessante fazermos uma pequena digressão matemática, capaz de nos proporcionar indicações valiosas.

Lembremos que, considerando trechos de rede situados cada vez mais à montante, iremos abrangendo valores cada vez maiores de  $R$  e, portanto, de  $n$ .

Por outro lado, sendo  $p$  constante, sabemos que:

- a) aumentando-se  $n$ , a assimetria da distribuição binomial vai se reduzindo e esta converge para uma distribui-

ção normal (44, p.43);.

- b) dois parâmetros - a média e o desvio padrão - caracterizam completamente uma distribuição normal (41, p. 119);
- c) a distribuição normal, para a qual converge uma binomial, tem a mesma média e o mesmo desvio padrão que essa binomial, isto é (44, p.43):

$$M_x = n.p$$

$$\sigma_x = \sqrt{n.p(1-p)}$$

(III.8)

- d) como a binomial é uma distribuição descontínua e a normal uma distribuição contínua, a passagem daquela para esta encerra uma correção para a continuidade (41, p.679).

Portanto, com  $n$  acima de certo valor (41, p.680), podemos escrever:

$$m - 0,5 \leq M_x + c \cdot \sigma_x < m + 0,5$$

isto é: (III.9)

$$m - 0,5 \leq n \cdot p + c \sqrt{np \cdot (1 - p)} < m + 0,5$$

onde  $c$  exprime, em termos de desvio padrão, na curva normal, o desvio que  $m$  teria a partir da média se  $x$  fôsse variável contínua; e a parcela  $\pm 0,5$  correção para a continuidade, indica os limites do intervalo abrangido pelo valor inteiro  $m$ . De acôrdo com a definição de  $m$ , resulta, de uma tabela da área da curva normal, que, praticamente:

$$c = 2,327.$$

A expressão (III.1) torna-se, então:

$$Q - 0,5 \cdot q \leq [n \cdot p + c \sqrt{n \cdot p \cdot (1 - p)}] q < Q + 0,5 \cdot q$$

ou seja:

(III.10)

$$Q - 0,5 \cdot q \leq n \cdot q \cdot p \left( 1 + \frac{c \sqrt{1 - p}}{\sqrt{n \cdot p}} \right) < Q + 0,5 \cdot q$$

ou, ainda, lembrando-se que  $M_{Q_x} = n \cdot q \cdot p$  e designando-se  $Q/M_{Q_x} = k_3$ :

$$k_3 - 0,5 \left( \frac{q}{M_{Q_x}} \right) \leq 1 + \frac{c \sqrt{1 - p}}{\sqrt{n \cdot p}} < k_3 + 0,5 \left( \frac{q}{M_{Q_x}} \right)$$

Evidencia-se, pois, que para  $n$  suficientemente grande, que representaremos por  $n_0$ ,  $Q$  pode ser substituído pelo seu valor central,  $M_{Q_x}$ , isto é, para  $n = n_0$  :

$$Q \cong n_0 \cdot q \cdot p \quad (\text{III.11})$$

Por um raciocínio análogo, se definíssemos um limite extremo inferior para  $Q_x$ , verificaríamos que êsse limite também convergiria para a média  $M_{Q_x}$ .

Tais demonstrações, juntamente com o que vimos anteriormente, nos proporcionam as conclusões seguintes.

- a) Para a devida interpretação das vazões instantâneas em um trecho genérico da rêde, é conveniente efetuar-se, separadamente, a análise das diferentes variações intervinientes, de acôrdo com as diferentes leis que as regem.
- b) A variação das vazões demandadas instantaneamente pelas peças de utilização, presidida pela lei do acaso, im-

plica na consideração de um terceiro fator,  $k_3$ , ao se calcular a rêde pelo método do coeficiente de distribuição em marcha.

- c) Esse coeficiente  $k_3$  depende de características próprias das peças de utilização e do número de peças presentes (e, pois, do número de prédios ou habitantes abastecidos).
- d) A variação casual só poderia ser desprezada se o coeficiente  $k_3$  fôsse desprezível em face dos valores de  $k_1$  e  $k_2$ .
- e) O valor de  $k_3$  é assintoticamente decrescente no sentido de montante, tendendo ao valor unitário para  $n$  tendendo ao infinito.
- f) Se, em face da formula (III.6), procurarmos medir os valores de  $Q_x$  em uma secção de canalização tronco, canalização essa que abasteça um número de peças,  $n_0$ , suficientemente grande, iremos encontrar uma vazão praticamente constante, igual a  $M_{Q_x}$ , a menos

das variações de outra natureza. Nestas condições, a análise dos coeficientes  $k_1$  e  $k_2$ , conforme a expressão (III.7), tornar-se-á bem mais simples.

- g) O desconhecimento da lei de variação implícita no coeficiente  $k_3$  e a consequente admissão dessa variação como sendo parte da variação horária, representada por  $k_2$ , podem conduzir à conclusão qualitativa de que  $k_2$  é maior em populações menores (n menores). Ao mesmo tempo, podem acarretar grandes dificuldades, na estimativa de  $k_2$  por meio de medição de vazões, dada a variância inesperada de que fica elevado esse coeficiente, ao se tentar estimá-lo em canalizações que abasteçam um número relativamente pequeno de habitantes.

3.5.5- A equação (III.7) nos sugere a dedução de uma fórmula muito cômoda, capaz de servir de base a um outro método para se estimar  $p$ .

De fato, muitas observações já feitas, nos indicam uma correlação entre a vazão média anual,  $Q_A$ , e a população abastecida pela seção considerada.

Chamando de  $H$  ao número de habitantes em questão, podemos escrever:

$$Q_A = v.H \quad (\text{III.12})$$

onde o fator  $v$ , constante (a menos de tendências seculares), tem sido denominado consumo por habitante no tempo unitário ou, também, quota "per capita" na unidade de tempo.

Introduzindo as expressões (III.7) e (III.12) em (III.6), resulta:

$$p = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H}{n \cdot q}$$

onde vemos que  $p$  é expresso pela relação entre a vazão média na hora de maior consumo do dia de maior consumo e a vazão máxima possível nas peças de utilização.

Essa fórmula pode ser escrita sob a forma seguinte:

$$p = k_1 \cdot k_2 \cdot v\left(\frac{H}{n}\right) \left(\frac{1}{q}\right) \quad (\text{III.13})$$

onde  $\frac{H}{n}$  representa o número médio de habitantes por peça suscetível de uso.

Chamando de  $h$  ao número médio de habitantes por prédio, e de  $N$  ao número médio de peças suscetíveis de uso por prédio, podemos escrever:

$$\frac{h}{N} = \frac{H}{n}$$

e a fórmula (III.13) se torna:

$$p = k_1 \cdot k_2 \cdot v\left(\frac{h}{N}\right) \left(\frac{1}{q}\right) \quad (\text{III.14})$$

Assim, em (III.13) e (III.14), estamos pondo à mostra os fatores dos quais depende  $p$ , no que concerne às características próprias de consumo de água em cada comunidade. Essa forma



de apresentação tem a vantagem de dar o valor de  $p$  em função dos parâmetros  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$ , parâmetros êsses que diferem de uma comunidade para outra, variando porém dentro de intervalos relativamente restritos. E cujos valores têm sido objeto de muitas estimativas, por fôrçada necessidade do seu conhecimento em uma série de outros problemas pertinentes ao campo de trabalho em sistemas de abastecimento público de água. Essas fórmulas dependem também do parâmetro  $H/n$  ou  $h/N$ , o qual ficará condicionado a estimativa em cada caso, estimativa essa relativamente fácil. E dependem, ademais, da grandeza  $q$ .

### 3.6- Apêndices

#### 3.6.1- Apêndice nº 1.

Em III-3.2, é evidente que o valor 1%, adotado como limite definidor de  $m$ , não se acha vinculado ao método de cálculo em estudo e poderá ser sujeito a reexames ulteriores.

A primeira vista, pode parecer inseguro em demasia, um limite aceitando, em média, que o abastecimento possa ser inadequado durante 1

segundo, em cada 100 segundos. Entretanto, adotamo-lo, tendo em mente o fato de estarmos lidando com população de fim de período de projeto. E, também, por termos admitido, neste particular, aceitável e generalizável a argumentação apresentada por Hunter (45, p.8) ao fixar o limite 1% no seu estudo sobre instalações prediais, estudo esse que constituiu base para o Recommended Minimum Requirements for Plumbing, do National Bureau of Standards (46, p.13 e 35).

### 3.6.2- Apêndice nº 2.

Em III-3.3, afirmamos que a distribuição de probabilidades obedece à equação da binomial. Não apresentamos a demonstração correspondente, por ser a mesma excessivamente longa e complexa, ultrapassando o campo de nossa especialização. Há necessidade de recorrer à teoria do "processo estocástico descontínuo" ("Discontinuous Stochastic Process", na língua inglesa) e à noção de "equilíbrio estatístico" ("Statistical Equilibrium"), cujos conceitos e bibliografia correspondentes podem ser encontrados em parte no livro (41, p.731), de A. Hald, professor de Estatística da Universidade de

Copenhague. A aplicação dessa teoria, para resolução do nosso problema específico, pode ser deduzida dos estudos apresentados no livro (40), de Thornton C. Fry, membro do corpo técnico da Bell Telephone Laboratories; na referida publicação, salientamos, especialmente, as partes seguintes:

- a) Parágrafo 113;
- b) Parágrafo 114, Hipóteses nº 1, 2, 3, 4, 7 e 10;
- c) Parágrafo 85, primeira parte do Teorema;
- d) Parágrafos 116, 117 e 118.

### 3.6.3- Apêndice nº 3

Os problemas analisados em III-3.5.3 a III-3.5.5, podem também ser visualizados, numa tentativa de maior clareza, sob a forma descrita a seguir.

- a) Os habitantes, pertinentes a um número genérico de trechos de rede, demandam anualmente uma vazão média dada por (III.12), onde  $v$  é uma constante, a menos de tendência secular.

Esta tendência, se existente, poderá ser equacionada pela análise estatística, que nos conduzirá a uma estimativa do valor  $v$  relativo à nossa população de projeto.

b) Deduzida a influência eventual da tendência secular, obteremos uma série "estacionária" onde teremos, para cada intervalo de tempo de cada dia do ano, uma demanda de água dada pela vazão média anual multiplicada por um coeficiente representativo de variações sazonais. De forma que poderemos estimar um particular valor, representado por  $k_1 \cdot k_2$ , o qual nos conduzirá à vazão a ser esperada no intervalo de tempo em que há uso mais intenso das peças de utilização, vazão essa denominada vazão na hora de maior consumo do dia de maior consumo ou, simplesmente, vazão máxima horária. Na hora de maior consumo do dia de maior consumo, por força de fatores casuais relativos ao uso das peças, as vazões momentaneamente solicitadas pelos consumidores poderão abranger grandezas bastante diferentes da vazão máxima horária, mas esta tenderá a assumir o valor central da distribuição daquelas grandezas, uma vez que é o valor esperado.

c) Numa dada rêde, à medida que considerarmos secções mais à montante, aumentaremos o número de habitantes (e peças) abastecidos, pelo que diminuiremos a dispersão das vazões em torno do seu valor central, por fôrça da lei dos grandes números (41, p.203). Remanescerão, todavia, por serem independentes da considerada lei do acaso, as influências presididas pelas leis de variação sazonal.

d) Outras variações, geralmente de carácter oscilatório (aparente mas não estritamente periódicas), poderiam também ser consideradas, como por exemplo, a variação do consumo com o aumento mais ou menos periódico da taxa d'água ou do salário mínimo, ou com a eventualidade de falha no abastecimento, ou com a ocorrência de greves e assim por diante. Tais variações, menos sensíveis e difíceis de serem analisadas, deverão ser cobertas, no projeto, em função de critérios de segurança a serem previstos em normas e especificações.

#### 4- Diferenciação das rêdes, segundo os tipos de peças de utilização.

4.1- O valor de  $q$  é uma característica essencialmente peculiar à peça de utilização. Outros

fatôres, como a pressão disponível, nele intervém, mas são limitados pela condição de funcionamento satisfatório da peça.

4.2- De acôrdo com a Norma Brasileira, em Estágio Experimental, para Instalações Prediais de Água Fria (34, p.14), as vazões das peças de utilização a serem consideradas no cálculo das instalações são as indicadas em nosso Quadro III-1.

Quadro III-1

<u>Peça de utilização de</u>	<u>q (l/s)</u>
Bacia sanitária com caixa de descarga..	0,15
Bacia sanitária com válvula de descarga	1,90
Banheira .....	0,30
Bebedouro .....	0,05
Bidé .....	0,10
Chuveiro .....	0,20
Lavatório .....	0,20
Mictório de descarga contínua, por me- tro ou por aparelho .....	0,075
Mictório de descarga descontínua .....	0,15
Pia de despejo .....	0,30
Pia de cozinha .....	0,25
Tanque de lavar .....	0,30

Observando êsse quadro, e tendo em conta as peças que a experiência corriqueira evidencia causarem demandas substanciais na hora de maior consumo, distinguimos duas classes nítidas:

- a) peças com vazão de operação não excedendo a 0,30 litros por segundo;
- b) peças com vazão entre 0,30 e 1,90 litros por segundo; esta classe incluindo, apenas, as bacias sanitárias com válvula de descarga.

4.3- A fórmula (III.13) nos mostra que, as demais condições sendo mantidas constantes, um aumento de  $q$  acarreta diminuição no valor de  $p$ . Todavia, conforme evidenciaremos subseqüente mente, dentro dos valores práticos em jogo, valores maiores de  $q$  ocasionam condições mais desfavoráveis para o dimensionamento da rede pública de distribuição. Isto é, causam valores mais elevados, na curva representativa das vazões de distribuição em função do número de peças (ou de prédios, ou de habitantes).

Assim sendo, em uma classificação a favor da segurança, as peças em uso na prática, previstas na Norma, serão divididas em dois grandes grupos:

- a) peças, que chamaremos de tipo I, com vazão até 0,30 litros por segundo inclusive, para as quais atribuiremos o valor uniforme:  $q = 0,30 \text{ l/s}$ ;
- b) peças de tipo II, com vazão de operação entre 0,30 e 1,90 litros por segundo, para as quais atribuiremos o valor uniforme:  $q = 1,90 \text{ l/s}$ .

4.4- Podemos, pois, para efeito de análise de suas vazões de distribuição, classificar uma rede em uma das três divisões seguintes:

4.4.1- Rede abastecendo somente peças de tipo I;

4.4.2- Rede abastecendo somente peças de tipo II;

4.4.3- Rede abastecendo peças de tipo I e de tipo II.



A rigor, o caso 4.4.2 não tem existência real. Na prática, porém, êle se aplicará à eventualidade em que as vazões na rêde, na hora de maior consumo, possam ser levadas à conta dê-se tipo de peça, dada a predominância de suas demandas.

4.5- Se admitirmos, por ora, que as peças pertinentes a um mesmo tipo sejam também da mesma categoria, os casos 4.4.1 e 4.4.2 reverterão ao caso de rêde com peças de utilização equivalente, estudado em III-3, onde constituirão duas situações particulares decorrentes de dois particulares valores de  $q$ . Poderemos, nestas condições, em função do número de peças (ou de prédios, ou de habitantes) traçar duas famílias de curvas representativas, respectivamente, das vazões de distribuição pertinentes a êsses dois casos.

Na hipótese da rêde abastecer peças de tipo I e de tipo II, configurada como caso 4.4.3, a família de curvas correspondentes será intermediária daquelas duas mencionadas. A sua análise merece um estudo especial, o que se rá feito a seguir

5- Vazões de distribuição em rêsdes com peças de tipos diferentes, cada tipo sendo de categoria uniforme.

5.1- Hipóteses de cálculo

Neste caso, peças de tipos I e II, atuando simultâneamente, ocasionarão a vazão Q. Designemos, com os índices I e II, as respectivas grandezas características.

Os números n e N de peças suscetíveis de uso abrangerão duas parcelas:

$$n = n_I + n_{II} \quad (\text{III.15})$$

$$N = N_I + N_{II}$$

e, por suposição, a composição da rêsde será homogênea, isto é, para qualquer secção:

$$n_I/n_{II} = N_I/N_{II} = \text{constante.}$$

Admitamos, outrossim, que as peças funcionem com independência entre si; que as va-

zões de operação sejam as mesmas para tôdas as peças de mesmo tipo e iguais, respectivamente, a  $q_I$  e  $q_{II}$ ; que a probabilidade de estar em operação, num instante casual, seja a mesma para tôdas as peças de mesmo tipo, e constantemente igual a  $p_I$  ou  $p_{II}$ , conforme o tipo a que pertençam; e que a vazão ocorrente, em um instante qualquer, na secção genérica, seja exatamente igual à soma das vazões de operação das  $x$  peças que estejam em funcionamento nesse instante, sendo  $x$  um número inteiro compreendido entre zero e  $n$ , expresso por:

$$x = x_I + x_{II} .$$

## 5.2- Equação da distribuição de probabilidades

A equação (III.2), neste caso, nos dará, separadamente, a distribuição de probabilidades de  $x_I$  e de  $x_{II}$  nos seus respectivos universos. Serão as seguintes:

$$p_{x_I}^{n_I} = C_{x_I}^{n_I} (p_I)^{x_I} (1 - p_I)^{n_I - x_I}$$

$$p_{x_{II}}^{n_{II}} = C_{x_{II}}^{n_{II}} (p_{II})^{x_{II}} (1 - p_{II})^{n_{II} - x_{II}}$$

( III . 16 )

Consideremos, agora, a secção do trecho genérico da rêde abastecendo R prédios, êstes contendo, em conjunto,  $n = n_I + n_{II}$  peças suscetíveis de uso. A probabilidade  $p_{x_I, x_{II}}^n$  de que haja, exatamente,  $x_I$  peças de tipo I e  $x_{II}$  peças de tipo II, em funcionamento simultâneo, sendo êsses sucessos independentes entre si, é dada pela equação seguinte (41, p.17):

$$p_{x_I, x_{II}}^n = p_{x_I}^{n_I} \cdot p_{x_{II}}^{n_{II}} \quad (\text{III.17})$$

5.3- Formulação do número máximo provável de peças em uso simultâneo.

Fazendo-se  $x_{II} = m_{II}$ , sendo  $m_{II}$  um valor inteiro, satisfazendo a condição:

$0 \leq m_{II} \leq n_{II}$ , a expressão (III.3), em face de (III.17), se escreverá:

$$p_{m_{II}}^{n_{II}} \sum_{m_I}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \geq 0,01 \geq p_{m_{II}}^{n_{II}} \sum_{m_I+1}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \quad (\text{III.18})$$

As expressões (III.16) e (III.18) nos permitirão calcular o valor de  $m_I$ , desde que conheçamos  $p_I$  e  $p_{II}$ .

Chamemos:

$$m_I + m_{II} = m'$$

Concluimos que a solução do problema, neste caso, ficará indeterminada se adotarmos, simplesmente, a expressão (III.3) como definidora do número máximo provável de peças em uso simultâneo. De fato, iremos obter diversos valores para  $m'$ , conforme o  $m_{II}$  de partida que fixarmos. Deduzimos, assim, que, na referida secção do trecho genérico da rêde, poderemos ter vários conjuntos  $(m_I + m_{II})$  de peças em uso simultâneo, aos quais correspondam 99% de probabilidade. Esta indeterminação decorre de estarmos lidando com a distribuição de frequência de duas variáveis, diante de uma única condição, representada por (III.18).

Tenhamos em mente, consoante III-3.2, que estamos pesquisando a vazão máxima provável a ser solicitada pelas peças. Acrescentemos, pois, complementando a conceituação de  $m$ , que êste será igual ao particular valor de  $m'$

capaz de produzir a máxima vazão  $Q'$ , esta sendo definida como:

$$Q' = m_I \cdot q_I + m_{II} \cdot q_{II} \quad (\text{III.19})$$

Para simplificação dos cálculos, podemos dar, à expressão (III.18), a forma seguinte:

$$\sum_{m_I}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \geq \frac{0,01}{p_{m_{II}}^{n_{II}}} \geq \sum_{m_I+1}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \quad (\text{III.20})$$

Dando, a  $m_{II}$ , todos os valores inteiros compreendidos no intervalo fechado  $(0 - n_{II})$ , pesquisariamos todos os possíveis  $m_I$  correspondentes. Contudo, certas propriedades, apresentadas a seguir, irão reduzir de muito o número de determinações necessárias.

a) Como  $\sum_{m_I}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \leq 1$ , para cada  $n_{II}$  só interessarão valores de  $m_{II}$  com  $p_{m_{II}}^{n_{II}} \geq 0,01$ .

b) Porque  $p_{m_{II}}^{n_{II}} \leq 1$ , para cada  $n_{II}$  só interessarão somatórias a partir de  $\sum p_{x_I}^{n_I} \gg 0,01$ .

c) Como o que desejamos determinar é o maior valor de  $Q'$ , para cada  $n_{II}$  só introduziremos, na expressão (III.20), valores de  $m_{II}$  iguais ou superiores à moda de  $p_{x_{II}}^{n_{II}}$ , isto é, valores a partir de (41, p.669):

$$(n_{II} + 1) p_{II} - 1 < m_{II} \leq (n_{II} + 1) p_{II}$$

5.4- Formulação e métodos de estimativa dos parâmetros  $p_I$  e  $p_{II}$ .

As estimativas dos parâmetros  $p_I$  e  $p_{II}$  poderão ser feitas pelo método, descrito anteriormente, baseado na expressão (III.4). Deveremos estimar, mediante amostragem, os valores de  $t_I$ ,  $T_I$ ,  $t_{II}$  e  $T_{II}$ .

Poderemos também recorrer ao método baseado na medição de vazões, desde que conheçamos a fração de  $M_{Q_x}$  atribuível a cada tipo de aparelho. Se designarmos por  $b$ , a fração de  $M_{Q_x}$  atribuível a aparelhos de tipo II, teremos:

$$M_{Q_{x_{II}}} = b \cdot M_{Q_x} = n_{II} \cdot q_{II} \cdot p_{II}$$

Mas,

$$M_{Q_x} = M_{Q_{x_I}} + M_{Q_{x_{II}}}$$

donde:

$$M_{Q_{x_I}} = (1 - b)M_{Q_x} = n_I \cdot q_I \cdot p_I$$

Introduzindo (III.7) e (III.12), teremos também:

$$p_I = (1 - b)k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot \frac{H}{n_I} \cdot \frac{1}{q_I} \quad (\text{III.21})$$

$$p_{II} = b \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot \frac{H}{n_{II}} \cdot \frac{1}{q_{II}}$$

## 6- Vazões de distribuição em redes com peças de categorias heterogêneas.

### 6.1- Rêdes com peças de mesmo tipo.

6.1.1- Até o presente ponto, admitimos que, a probabilidade de estar em operação, em um instante qualquer, fôsse a mesma para todas as peças pertencentes a um mesmo tipo.



Tal hipótese poderá ser bastante precisa, no caso de rede onde, na hora de maior consumo, tivermos uma acentuada predominância de demandas causadas por peças de tipo II. Isto porque, conforme vimos em III-4.2, peças usuais, pertinentes a essa classificação, pertencem a um mesmo aparelho - bacia sanitária com válvula de descarga. Dentro da condição de homogeneidade da comunidade e de independência entre as peças, no que respeita a consumos de água, é de se admitir que as referidas peças tenham a mesma probabilidade.

Quando nos referimos às redes com peças de tipo I, porém, a situação é diferente. Incluimos peças de utilização relativas a diversos aparelhos, como pia de cozinha, tanque de lavar, pia de despejo, bacia sanitária com caixa de descarga e outros. Na hora de maior consumo, é de se pressupor que tais peças participem com diferentes probabilidades de uso. Vamos analisar, a seguir, este aspecto do problema.

6.1.2- Assinalemos, preliminarmente, que seria lícito tentarmos aplicar o método de análise adotado em III-5, onde tínhamos peças de tipos diferentes. Escreveríamos, análogamente à (III.16), a distribuição de probabilidades

relativa a cada categoria de peça. E a equação da distribuição de probabilidades, referente aos acontecimentos simultâneos dos vários sub-grupos, seria dada, como em (III.17), pelo produto (41, p. 17). Entretanto, no caso, êsse procedimento se revelaria bastante trabalhoso, devido ao número de variáveis intervenientes.

Aliás, critério assim direto para resolução do problema, foi adotado por Bolant (47, p. 315), no método que êste propôs para cálculo das vazões a serem consideradas em instalações prediais. Trata-se de um método difícil de ser aceito na prática, devido à extensão e complexidade dos cálculos nele envolvidos, mesmo em casos correntes de instalações prediais (\*).

6.1.3- Vamos examinar uma orientação diferente, tirando partido da observação feita em III-4.2. Como tôdas as peças pertencem a um mesmo tipo (com iguais valores de  $q$ ), não

---

(\*) Martins, J.A.: Comunicação pessoal, baseada em várias tentativas de aplicação do método a casos concretos.

nos interessa saber, para efeito de aplicação da fórmula (III.1), qual a parcela, de cada categoria de peça, que irá figurar na composição da quantidade  $m$ . Então, consideremos a secção de um trecho genérico da rede. Designemos, ainda, por  $n$ , ao número total de peças, abastecidas por essa secção, e verifiquemos, em instantes de observação tomados casualmente, como se distribuem os números  $x$  de peças em funcionamento simultâneo, sem distinção das categorias às quais pertençam. Suponhamos que, nesse número  $n$  de peças de mesmo tipo, tenhamos  $n_1$  com probabilidade  $p_1$  de sucesso, pertencentes a uma dada categoria;  $n_2$  com probabilidade  $p_2$  e, assim, sucessivamente, sendo as proporções  $n_1/n$ ,  $n_2/n$  etc., constantes para qualquer secção. Admitamos que as peças funcionem com independência entre si e que a probabilidade seja constante para cada categoria de peça, em um instante qualquer, diferindo, porém, de uma categoria para outra, no mesmo instante.

Podemos verificar que a análise do problema, assim formulado, subordina-se à "teoria das flutuações quando as amostras não obedecem às condições de simplicidade". Demonstra-se(48, p. 184), nesta teoria, que a distribuição apre

senta os parâmetros seguintes (\*):

$$\text{Média} \quad M_x = \sum M_{x_i} = n \cdot p_0 \quad (\text{III.22})$$

$$\text{Variância} \quad \sigma_x^2 = \sum \sigma_{x_i}^2 = n \cdot p_0(1-p_0) - \sigma_p^2 \cdot n \quad (\text{III.23})$$

onde as somatórias se estendem a tôdas as categorias  $i$  presentes e  $p_0$  é a probabilidade média de sucesso, por peça, dada por:

$$p_0 = \frac{\sum n_i \cdot p_i}{n} \quad (\text{III.24})$$

e  $\sigma_p$  é o desvio padrão das probabilidades  $p_i$  em relação à média  $p_0$ , isto é:

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum n_i (p_i - p_0)^2}{n} \quad (\text{III.25})$$

O valor de  $m$ , a ser aplicado na fórmula (III.1), provirá, assim, de uma distribuição

(\*) A apresentação da demonstração mencionada, em (48, p.184), não nos pareceu clara. Contudo, as suas conclusões são verdadeiras, conforme a Prof<sup>a</sup> E. Berquó teve a gentileza de nos evidenciar.

ção contendo os parâmetros  $M_x$  e  $\sigma_x^2$  expressos por (III.22) e (III.23).

De acôrdo com as expressões (III.22) a (III.25),  $M_x$  e  $\sigma_x$  poderão ser calculados desde que conheçamos a proporção,  $n_i/n$ , com que cada categoria de peça participa na constituição da população total de peças; e desde que conheçamos a probabilidade,  $p_i$ , inerente às peças de cada categoria. As proporções,  $n_i/n$ , poderão ser estimadas mediante amostragem. Em certos casos, elas já são conhecidas ou podem ser assumidas, quando são conhecidas as instalações prediais consumidoras de água (caso, por exemplo, de núcleos residenciais construídos segundo projetos padronizados) ou quando se possam admitir quais sejam os aparelhos previsíveis. Os valores das probabilidades, associadas às categorias de peças, poderão ser estimadas de forma análoga ao que vimos, em III-5.4, para rêdes com peças de tipos diferentes.

6.1.4- Diante das dificuldades práticas perceptíveis em III-6.1.2 e III-6.1.3, particularmente no que concerne à estimativa dos parâmetros descritos, vejamos qual será a consequência de se analisar, a rêde em referência, mediante abstração da diversidade de categorias presentes. Isto é, mediante assimila-

-ção a uma rêde fictícia com peças de utiliza-  
ção equivalentes, rêde essa que se sujeite, con-  
seqüentemente, ao tratamento formulado em  
III-3. A rêde fictícia estará alimentando uma  
categoria única de peças, categoria essa fic-  
tícia, e terá, quando comparada com a rêde em  
estudo, as seguintes características:

a) abastecerá, através de uma secção  
qualquer de canalização, o mesmo número  $n$  de  
peças, igual a  $\sum n_i$ ;

b) tôdas as suas peças terão a mesma  
probabilidade  $p$  de sucesso; o valor de  $p$ , ob-  
tido conforme III-3.5., mediante abstração  
das diferentes categorias presentes, será nu-  
mèricamente igual ao  $p_0$  definido em (III.24);

c) tôdas as suas peças terão a mesma  
vazão de operação  $q$ ;

d) em uma secção genérica de canaliza-  
ção, alimentadora de  $n$  peças, ambas as rêdes  
terão o mesmo número médio de sucessos; isto  
é, o  $M_x$  definido em III-3.5.1, terá o mesmo  
valor que o  $M_x$  examinado em III-6.1.3;

e) na mesma secção genérica considerada, o desvio padrão teórico do número de sucessos será maior na rêde fictícia, conforme se depreende de uma comparação entre as fórmulas (III.8) e (III.23); portanto, na rêde fictícia, a distribuição teórica do número de sucessos apresentará dispersão maior.

Verificamos assim que, na rêde em estudo, se fizermos abstração da presença de peças de diferentes categorias e procedermos conforme o tratamento formulado em III-3:

a) estaremos trabalhando com a média verdadeira;

b) estaremos utilizando uma curva de distribuição de probabilidades afetada por dispersão maior que a verdadeira; a magnitude do erro dependerá da importância relativa de  $n \cdot \sigma_p^2$ , em face de  $n \cdot p \cdot (1-p_0)$ , na expressão (III.23).

## 6.2- Rêdes com peças de tipos diferentes.

6.2.1- Imaginamos, neste caso, a presença de peças de tipos I e II, contendo, o tipo I, várias categorias. No caso geral, o mes-

mo acontecendo com o tipo II.

6.2.2- A observação feita em III-6.1.2 pode, também aqui, ser repetida.

6.2.3- Analisando, separadamente, a distribuição de probabilidades no universo constituído pelas peças de tipo I, poderemos escrever, análogamente ao que vimos em III-6.1.3:

$$\text{Média} \quad M_{x_I} = \sum M_{x_{I_i}} = n_I \cdot p_{I_0}$$

$$\text{Variância} \quad \sigma_{x_I}^2 = \sum \sigma_{x_{I_i}}^2 = n_I \cdot p_{I_0} (1-p_{I_0}) - n_I \cdot \sigma_{I_p}^2$$

onde as somatórias se estenderão a todas as categorias  $i$  pertinentes ao tipo I, e  $p_{I_0}$  será a probabilidade média de sucesso, por peça de tipo I, dada por:

$$p_{I_0} = \frac{\sum n_{I_i} \cdot p_{I_i}}{n_I}$$

e  $\sigma_{I_p}$  será o desvio padrão das probabilidades  $p_{I_i}$  em relação à média  $p_{I_0}$ , isto é:



$$\tilde{\sigma}_{I_p}^2 = \frac{\sum n_{xi} (p_{I_i} - p_{I_0})^2}{n_I}$$

Procedendo dessa mesma forma, poderemos escrever expressões semelhantes, aplicáveis às peças de tipo II.

Verificamos assim, que o valor  $m = m_I + m_{II}$ , a ser usado para o cálculo da vazão de distribuição, provirá da consideração simultânea dessas duas distribuições, distribuições essas contendo os parâmetros  $(M_{x_I}, \sigma_{x_I})$  e  $(M_{x_{II}}, \sigma_{x_{II}})$ .

6.2.4- Será interessante idealizarmos a análise, da rede em pauta, mediante configuração de uma rede fictícia com peças de tipos diferentes, cada tipo sendo de categoria uniforme. Essa rede fictícia se sujeitará, pois, ao tratamento formulado em III-5. A introdução da categoria única para cada tipo, categoria essa fictícia, será feita de modo análogo ao examinado em III-6.1.4, valendo-lhe, portanto, as propriedades e limitações então discriminadas.

7- Análise das vazões de distribuição por aproximação à distribuição de Poisson

7.1- Os dados, indicados pela prática, evidenciam que, em regra, é bem diminuta a probabilidade,  $p_i$ , de uma peça de categoria genérica,  $i$ , estar em operação num instante casual. Assim também, pequeno é o valor da probabilidade média,  $p$ , (igual ao  $p$  da rêde fictícia), definida em III-6.1.3 (e, com a devida adaptação, em III-6.2.3).

A título de ilustração, tomemos, na fórmula (III.14):  $k_1 = k_2 = 1,50$ ;  $v = \frac{200}{86\ 400}$  l/hab.s;  $h = 5$  hab/prédio;  $q = 0,30$  l/s. Nestas condições, para obtermos o valor máximo de  $p$ , correspondente a uma rêde com mais de uma categoria de peças, admitamos que aquele valor de  $v$  possa ocorrer tendo-se, em média, apenas duas peças suscetíveis de uso por prédio, isto é,  $N = 2$  peças/prédio ( $i = 1$  e  $2$ ).

Resulta:

$$p = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \frac{200}{86\ 400} \cdot \frac{5}{2} \cdot \frac{1}{0,30} = 0,043\ 4$$

Notemos que, se tivéssemos somente peças de tipo II, as demais condições sendo mantidas as mesmas, teríamos:

$$p = 0,0069$$

Também como ilustração, apresentemos os valores de  $p_i$ , para várias categorias de peças, obtidos por Wise e Croft, em pesquisa realizada no Building Research Station, Inglaterra (49, p. 24-19). Foram obtidos valores de  $p_i$ , mediante estimativa de  $t_i$  e  $T_i$ , conforme o método que expuzemos em III-3.5.1. A amostragem abrangeu 108 famílias vivendo em casas e em apartamentos. Registraram-se as durações e os intervalos das descargas de aparelhos, entre 5,30 h e 10,30 h de cada dia de trabalho, durante uma semana. Obtiveram-se os valores  $(t_i, T_i)$  médios das horas de máximo consumo de toda a semana, bem como os valores  $(t_i, T_i)$  da hora de máximo do dia de máximo naquele período. Estes últimos valores, com os consequentes  $p_i$ , acham-se reproduzidos no Quadro III-2.

Quadro III-2

<u>Aparelho</u>	<u>t<sub>i</sub>(s)</u>	<u>T<sub>i</sub>(s)</u>	<u>p<sub>i</sub></u>
Bacia sanitária			
modêlo"2 galões"	5	1 140	0,0044
modêlo"3 galões"	7	1 140	0,0061
Lavatório .....	10	1 500	0,0067
Pia de cozinha ..	25	1 500	0,0167

Aqueles investigadores supuzeram, outrossim, que, no período da tarde, houvesse um outro intervalo de máximo na curva de consumo, quando haveria, como suscetíveis de uso, banheiras com  $p_i = 0,042$  e bacias sanitárias com  $p_i = 0,0044$  ou  $0,0061$ .

Devemos ressaltar que, na amostragem supracitada, os parâmetros estimados não são, a rigor, aqueles pertinentes ao nosso estudo. Com efeito, referem-se às descargas, e não às demandas, de água pelos aparelhos. Todavia, fornecem nos uma indicação valiosa sobre a magnitude dos parâmetros de nosso interesse, dada a similaridade com que aqueles fenômenos se sucedem.

Para uma peça de categoria genérica,  $i$ , podemos escrever, conforme (III.4):

$$p_i = \frac{t_i}{T_i}$$

onde  $t_i$  e  $T_i$  representam intervalos de tempo médios relativos à peça de categoria  $i$ . Nestas condições, sendo  $q_i$  a vazão de operação, o consumo médio de água em cada uso da peça será igual ao produto:  $q_i \cdot t_i$ . Logo, se tomarmos  $p_i = 0,10$  em peças de uso mais corrente, poderemos figurar, conforme mostra o Quadro III-3, várias utilizações de peças, utilizações essas que, sob o aspecto probabilístico, são iguais entre si. No referido quadro, em caráter genérico, reunimos várias peças sob a designação de torneiras.

Quadro III-3

Utilização	q <sub>i</sub> (l/s)	t <sub>i</sub> (s)	T <sub>i</sub>		q <sub>i</sub> .t <sub>i</sub> (litros)
			(s)	(min)	
Torneira, i = 1	0,25	2	20	0,3	0,5
Torneira, i = 2	0,25	4	40	0,7	1,0
Torneira, i = 3	0,25	6	60	1,0	1,5
Bacia San.com V.D.,i=1	1,90	6	60	1,0	11,4
Bacia San.com V.D.,i=2	1,90	9	90	1,5	17,1
Torneira, i = 4	0,25	9	90	1,5	2,3
Torneira, i = 5	0,25	20	200	3,3	5,0
Torneira, i = 6	0,25	40	400	6,7	10,0
Bacia San.com C.D.,i=1	0,15	60	600	10,0	9,0
Bacia San.com C.D.,i=2	0,15	90	900	15,0	13,5
Torneira, i = 7	0,25	90	900	15,0	22,5
Chuveiro ou Tanque,i=1	0,20	150	1 500	25,0	30,0
Chuveiro ou Tanque,i=2	0,20	240	2 400	40,0	48,0

Observando o Quadro III-3, podemos notar que, a um valor máximo de  $p_i$  em tórno de 0,10 correspondem períodos de utilização,  $T_i$ , representativos do que poderíamos conceber como máximos usos intensivos de peças de utilização correntes, condizentes com as máximas capacidades físicas de uso dos respectivos aparelhos e compartimentos sanitários, ou de uso dos respectivos volumes de água. Especialmente se não perdermos de vista que  $T_i$  representa o valor médio para cada categoria,  $i$ , de peça de um dado tipo.

Por outro lado, se os valores de  $p_i$  forem geralmente inferiores a 0,10, a sua média,  $p_0$ , também o será.

7.2- O conhecimento de uma propriedade da distribuição binomial irá nos dar, neste ponto, uma importante indicação, capaz de nos conduzir a conclusões de conseqüências vantajosas para a simplificação dos cálculos. De fato, na presença dos valores, normalmente pequenos, das probabilidades intervenientes,  $p_i$  e  $p$ , podemos verificar que, nos casos gerais, será corretamente admissível assimilarem-se, as respectivas

distribuições binomiais, a distribuições de Poisson (41, p. 690).

Nestas condições, em um conjunto genérico de peças de categoria  $i$ , cada peça tendo a probabilidade  $p_i$  de estar em funcionamento num instante qualquer, a probabilidade,  $p_{x_i}^{n_i}$ , de um número  $x_i$  de sucessos em  $n_i$  peças será expressa por:

$$p_{x_i}^{n_i} = \frac{e^{-M_{x_i}} (M_{x_i})^{x_i}}{x_i!} \quad (\text{III.26})$$

Da mesma forma, no caso da rede com peças equivalentes, onde as peças têm, uniformemente, a probabilidade  $p$ , a distribuição de probabilidades, equacionada em (III.2), será assimilada à seguinte:

$$p_x^n = \frac{e^{-M_x} M_x^x}{x!} \quad (\text{III.27})$$



7.3- Destaquemos, a seguir, três propriedades da distribuição de Poisson:

1º) a distribuição de Poisson, para a qual converge uma distribuição binomial, tem a mesma média que essa binomial (41, p. 714);

2º) fixada a média de uma distribuição de Poisson, esta fica completamente definida; trata-se, pois, de uma distribuição caracterizada por um único parâmetro (41, p. 714);

3º) se as variáveis  $x_i$ , com  $i = 1, 2, 3$  etc., forem independentes entre si e distribuídas segundo a Poisson, com parâmetros respectivamente iguais a  $M_{x_i}$ , então a soma  $\sum x_i$  obedecerá também à distribuição de Poisson, com parâmetro igual a  $\sum M_{x_i}$  (41, p. 724).

7.4- Confrontando essas propriedades com nossas conclusões exaradas em III-6.1.4, chegamos à valiosa dedução seguinte:

em rede com peças de tipo uniforme, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, será lícito abstrair-se da presença de peças de diferentes categorias, procedendo-se

a análise através de uma rãde fictícia com peças equivalentes.

Nessa rãde fictícia, definida em III-6.1.4, aplicar-se-á o tratamento formulado em III-3, mediante as considerações abaixo:

a) a equação (III.2) passará a ser substituída pela equação (III.27);

b) a expressão (III.3), pertinente à definição de  $m$ , será apresentada na seguinte forma:

$$\sum_{x=m}^{\infty} \frac{e^{-M_x} \cdot M_x^x}{x!} \geq 0,01 \geq \sum_{x=m+1}^{\infty} \frac{e^{-M_x} \cdot M_x^x}{x!} \quad (\text{III.28})$$

c) nas fórmulas (III.8),  $\sigma_x^2$  (e, assim,  $\sigma_{Q_x}^2$ ) passará a ser calculada pelas mesmas expressões de  $M_x$  (e de  $M_{Q_x}$ ), pois, na Poisson, a variância é igual à média (41, p. 690);

d) os raciocínios implícitos em III-3.5.4 continuarão sendo válidos, uma vez que, dentro do arrazoado então estabelecido, a distribuição de Poisson também converge para a

normal (41, p. 717).

7.5- O confronto das propriedades discriminadas em III-7.3 com as conclusões referidas em III-6.2.4 e III-7.4, nos permite estender, obviamente, à conclusão seguinte:

em rede com peças de tipos diferentes, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, será lícito, em cada tipo, abstrair-se da presença de peças de diferentes categorias, procedendo-se a análise através de uma rede fictícia com peças de tipos diferentes, cada tipo sendo de categoria uniforme.

Nessa rede fictícia, aplicar-se-á o tratamento formulado em III-5, mediante considerações análogas àquelas expostas em III-7.4.

7.6- Uma série de outros problemas de engenharia, que denominaríamos "problemas de congestionamento", tem sido analisada através da distribuição de Poisson. No caso da determinação do número máximo provável de ligações telefônicas simultâneas, na hora de maior demanda do dia de maior demanda, tendo-se em

vista a fixação do número adequado de cabos telefônicos (40, p. 321). É o caso, também, da determinação do número máximo provável de veículos, no dia e hora de tráfego mais intenso, tendo-se em vista a análise da capacidade a ser dada a vias públicas (50, p. 133).

7.7- Para a aplicação da distribuição de Poisson, será conveniente dispormos de tabelas que nos dispensem de efetuar os cálculos fastidiosos implicados na sua equação.

Neste particular, serão muito úteis as tabelas publicadas por E.C. Molina, engenheiro da Bell Telephone Laboratories. Trata-se de um trabalho intitulado Poisson's Exponential Binomial Limit, o qual, segundo Molina (51), tem sido usado na Bell Telephone System, há cerca de 60 anos, para a solução de problemas de ligação telefônica. Fornece os termos individuais e os valores acumulados da distribuição de Poisson, com aproximação de seis decimais, para valores da média compreendidos entre zero e 100.

Nas aplicações a valores de  $n.p$  superiores a 100, geralmente será inteiramente aceitável (44, p. 45) o uso da tabela referente à

distribuição normal.

7.8- A adequação da Poisson à binomial será tanto melhor quanto menor fôr o valor de  $p$  e/ou maior fôr o valor de  $n$ . Considerando a conceituação de trecho, vista em III-1, e, ainda, a ordem de grandeza máxima de  $p$ , examinada em III-7.1, estamos proporcionando, no Quadro III-4, uma comparação entre os valores fornecidos pelas duas distribuições, em quatro situações que imaginamos estarem no entorno do caso geral de maior discrepância.

Quadro III-4

x	Binomial (*)				Poisson (£)		
	n	p	$P_x^n$	$\sum_x^n P_x^n$	n.p	$P_x^n$	$\sum_x^n P_x^n$
0	20	0,08	0,189	1,000	1,60	0,202	1,000
1 (\$)			0,328	0,811		0,323	0,798
2			0,271	0,483		0,258	0,475
4			0,052	0,071		0,055	0,079
5(B,P)			0,015	0,018		0,018	0,024
6			0,003	0,004		0,005	0,006
0	50	0,08	0,015	1,000	4,00	0,018	1,000
2			0,143	0,917		0,147	0,908
4 (C)			0,204	0,575		0,195	0,567
6			0,106	0,208		0,104	0,215
8			0,027	0,044		0,030	0,051
9(B,P)			0,011	0,017		0,013	0,021
10			0,004	0,006	0,005	0,008	
0	20	0,12	0,078	1,000	2,40	0,091	1,000
2 (\$)			0,274	0,711		0,261	0,692
4			0,130	0,213		0,125	0,221
6 (B)			0,019	0,026		0,024	0,036
7 (P)			0,005	0,007		0,008	0,012
8			0,001	0,001		0,002	0,003
0	50	0,12	0,002	1,000	6,00	0,002	1,000
2			0,038	0,987		0,045	0,983
4			0,133	0,865		0,134	0,849
6 (\$)			0,171	0,565		0,161	0,554
8			0,108	0,247		0,103	0,256
10			0,038	0,071		0,041	0,084
12(B,P)			0,008	0,014		0,011	0,020
13			0,003	0,005		0,005	0,009
14	0,001	0,002	0,002	0,004			

(\*) Para  $n = 20$ , foi usada a tabela do National Bureau of Standards (52); para  $n = 50$ , a tabela de Romig (53).

(£) Valores extraídos da tabela de Molina (51).

(\$) Moda

(B) e (P) - Valor de  $x = m$ , dado pela Binomial e pela Poisson, respectivamente. Note-se que só há diferença no 3º caso.

8- Curvas (n, m) em rêdes com peças de tipo uniforme.

8.1- Para as aplicações práticas, é desejável a elaboração de tabelas ou gráficos que nos forneçam o número máximo provável - m - de peças em funcionamento simultâneo, em função do número total - n - de peças suscetíveis de uso.

8.2- Dentro da distribuição de Poisson, procedamos do modo descrito a seguir.

a) Adotemos uma série de valores para m.

b) Para cada particular valor de m, procuremos o valor  $a = M_x$  que satisfaça a condição expressa em (III.28). A determinação de a é imediata, usando-se a tabela de Molina.

Observação: nos casos em que encontrarmos mais de um valor, a, satisfazendo àquela condição, adotemos, consoante a definição de Q, o menor valor.

c) Tendo sido, assim, determinada a média da distribuição de onde proveio cada m, obteremos os correspondentes n, pois, sabendo que

a média é igual a  $n.p$ , escreveremos:

$$n = \frac{a}{p} \quad (\text{III.29})$$

8.3- No intervalo de aplicabilidade da distribuição normal, obteremos os valores  $(n,m)$ :

a) fixando uma série de valores para  $n$ ;

b) determinando os  $m$  correspondentes, mediante a expressão (III.9).

8.4- Tanto na Poisson como na normal, resultará, como era de se esperar, uma família de curvas  $(n, m)$ , dependentes do parâmetro  $p$ .

8.5- É interessante que observemos a expressão (III.29), em face de (III.13) ou (III.14), com o que, dentro da distribuição de Poisson, concluiremos ser o número  $n$ , relativo a um dado  $m$ :



a) inversamente proporcional aos parâmetros  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $v$  e  $H/n$  (ou  $h/N$ );

b) diretamente proporcional ao parâmetro  $q$ .

Isto nos sugere a conveniência de introduzir os conceitos de número equiparável de peças e fator de equiparação entre peças.

Definamos, um número  $n$  de peças, de uma rede que tenha determinadas características, como sendo equiparável a um número  $n'$  de peças, de outra rede com características diferentes, quando a êles corresponder, nas respectivas distribuições, o mesmo número máximo provável,  $m$ , de peças em funcionamento simultâneo. A relação entre  $n$  e  $n'$ , que representaremos por  $f$ , denominamos fator de equiparação entre peças:

$$f = \frac{n}{n'} \quad (\text{III.30})$$

De acôrdo com (III.29), podemos escrever:

$$f = \frac{p'}{p} \quad (\text{III.31})$$

E, conforme (III.31), diante de (III.13) e (III.14), temos, respectivamente:

$$f = \frac{k_1' \cdot k_2' \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot \frac{H'}{n'} \cdot \frac{n}{H} \cdot \frac{q}{q'} \quad (\text{III.32})$$

$$f = \frac{k_1' \cdot k_2' \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot \frac{h'}{N'} \cdot \frac{N}{h} \cdot \frac{q}{q'} \quad (\text{III.33})$$

Conseqüentemente, se elaborarmos uma única tabela ou curva da função  $(n, m)$ , referente a particulares valores dos parâmetros inter<sub>venientes</sub>, essa mesma tabela ou curva, dentro das condições preconizadas, fornecer-nos-á os valores  $(n', m')$  relativos a rêdes com outras características. Com efeito, o valor  $m'$ , relativo a um genérico  $n'$ , será igual ao valor  $m$ , dado pela tabela ou curva em correspondência ao  $n$  assim obtido:

$$n = f \cdot n' \quad (\text{III.34})$$

8.6- Tendo em vista facilitar as aplicações práticas, apresentemos, no Quadro III-5 e na Fig. III-1:

a) a relação  $(m, M_x = n.p)$ , para valores de  $M_x$  inferiores a 100, de acordo com a ta bela de Molina;

b) a relação  $(n,m)$ , para o caso particular de uma rede com as características abaixo:

$$k_1 = k_2 = 1,50$$

$$v = \frac{200}{86\ 400} \text{ litro/habitante, por segundo}$$

$$H/n = h/N = 1 \text{ habitante/peça}$$

$$q = 0,30 \text{ litro/segundo}$$

resultando

$$p = 1,50 \cdot 1,50 \cdot \frac{200}{86\ 400} \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,30} = 0,017\ 36$$

Portanto, para redes com outras características, o uso dessa tabela  $(n,m)$ , ou da curva correspondente, poderá ser feito mediante os

seguintes fatores de equiparação:

a) pela fórmula (III.31):

$$f = \frac{p'}{0,01736} = 57,60 \cdot p'$$

b) pela fórmula (III.32):

$$f = \frac{k'_1}{1,50} \cdot \frac{k'_2}{1,50} \cdot \frac{86400 \cdot v'}{200} \cdot \frac{H'}{n'} \cdot \frac{0,30}{q'}$$

onde os parâmetros da nova rêde deverão ser expressos nas mesmas unidades que na rêde inicial;

c) pela fórmula (III.33), teriamos expressão análoga à anterior, com substituição de  $H'/n'$  por  $h'/N'$ .

Em particular, se as duas rêdes diferirem apenas no parâmetro  $k_1$ :

$$f = \frac{k'_1}{1,50}$$

Se diferirem apenas no valor de q:

$$f = \frac{0,30}{q'}$$

e assim por diante.

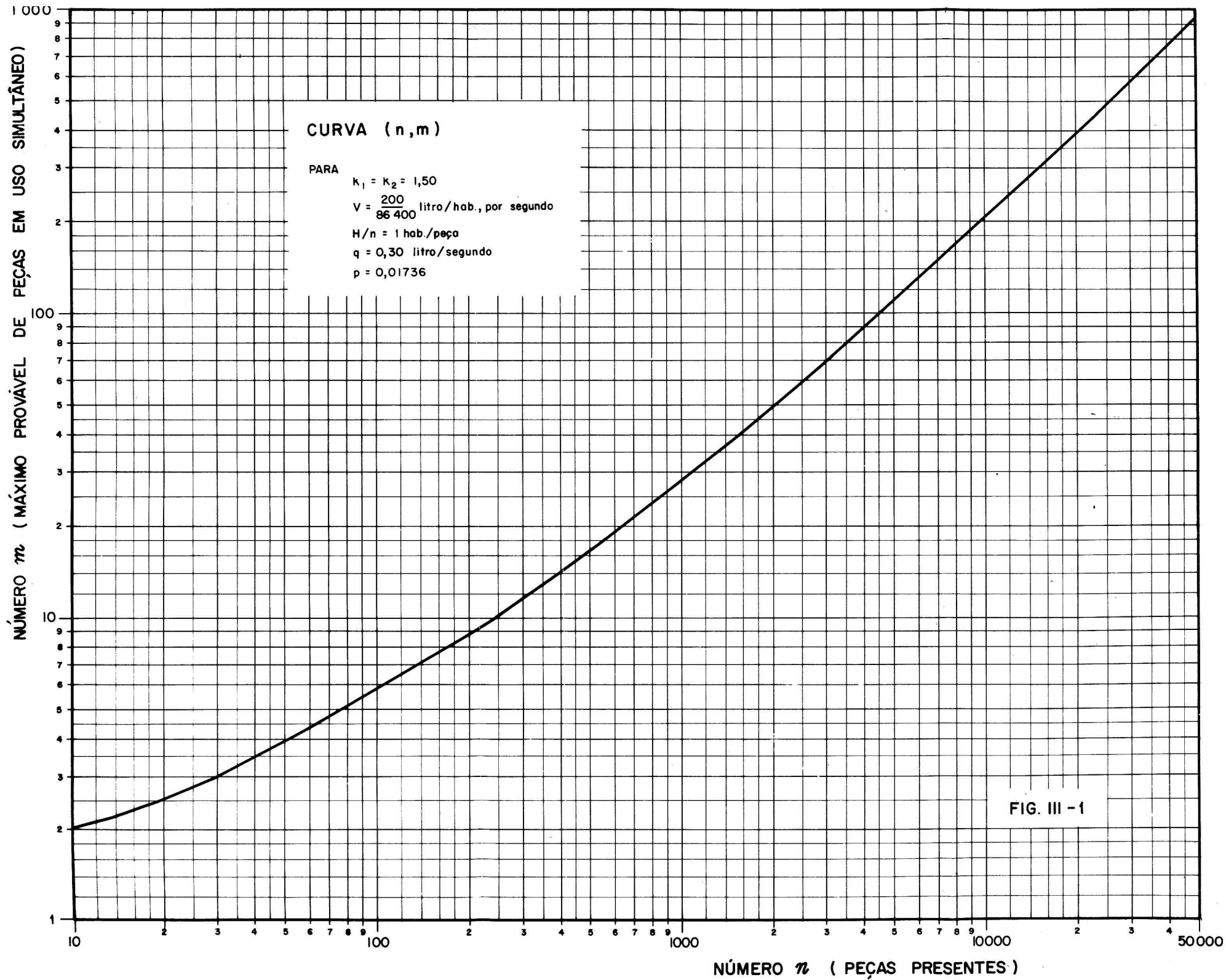
Não obstante ser evidente, julgamos oportuno ressaltar que, na Fig. III-1 e nas demais figuras congêneres destinadas à aplicação prática, fizemos a representação gráfica através da curva definida pelos pontos mais desfavoráveis, em lugar de fazê-lo pela poligonal teórica que definiria uma linha quebrada ascendente constituída de degraus e patamares.

Quadro III-5

Número m de peças	Média $M_x = n.p$	Número n de peças
2	0,15	9
3	0,5	29
4	0,9	52
5	1,3	75
6	1,8	104
7	2,4	138
8	3,0	173
9	3,6	207
10	4,2	242
12	5,5	317
14	6,8	392
16	8,2	472
18	9,7	559
20	11,1	639
25	14,9	858
30	19	1 094
40	27	1 555
50	36	2 074
100	79	4 550(*)
157	-	7 500
204	-	10 000
297	-	15 000
482	-	25 000
755	-	40 000
1 117	-	60 000
1 475	-	80 000
1 832	-	100 000
3 608	-	200 000
5 375	-	300 000
8 895	-	500 000
17 660	-	1 000 000

(\*) Até este valor, adotamos o processo descrito em III-8.2. A partir do mesmo, usamos aquele descrito em III-8.3, através da expressão:

$$m = 0,01736.n + 0,304 \sqrt{n}$$



9- Curvas (H,Q) e (R,Q) em rêdes com peças de tipo uniforme.

9.1- Na prática, o projeto de rêdes públicas de distribuiço de água pode r ser mais c omoda mente desenvolvido se relacionarmos a vazão máxima provável, Q, ao número médio de habitan tes, H, ou de prédios, R, que lhe corresponda. Isto porque, no planejamento de uma rêde, a es timativa de necessidades, em geral, pode ser mais claramente definida através do número de habitantes ou de prédios previsíveis em cada extensão de rua ou em cada área a ser abasteci da.

9.2- Para tal fim, tendo calculado, conforme III-8, os valores  $(n,m)$  e, assim, os valores  $(n, Q = m.q)$ , deveremos determinar os valores H ou R correspondentes a essa série de valores n já associados a m e a Q.

Designemos, como em III-3.5.5, por  $H/n$ , ao número médio de habitantes por peça e, por N, ao número médio de peças por prédio. Os valores de H e de R, a partir de n, serão dados por:



9- Curvas (H,Q) e (R,Q) em rêdes com peças de tipo uniforme.

9.1- Na prática, o projeto de rêdes públicas de distribuiço de água pode r ser mais c omoda mente desenvolvido se relacionarmos a vazão máxima provável, Q, ao número médio de habitan tes, H, ou de prédios, R, que lhe corresponda. Isto porque, no planejamento de uma rêde, a es timativa de necessidades, em geral, pode ser mais claramente definida através do número de habitantes ou de prédios previsíveis em cada extensão de rua ou em cada área a ser abasteci da.

9.2- Para tal fim, tendo calculado, conforme III-8, os valores  $(n,m)$  e, assim, os valores  $(n, Q = m.q)$ , deveremos determinar os valores H ou R correspondentes a essa série de valores n já associados a m e a Q.

Designemos, como em III-3.5.5, por  $H/n$ , ao número médio de habitantes por peça e, por N, ao número médio de peças por prédio. Os valores de H e de R, a partir de n, serão dados por:

$$H = n \left( \frac{H}{n} \right) \quad (\text{III.35})$$

$$R = n \left( \frac{1}{N} \right) \quad (\text{III.36})$$

9.3- Os valores de H poderão também ser deduzidos da expressão (III.6), introduzindo-se, nesta, o valor de p dado por (III.13). Resultará:

$$H = M_x \cdot \frac{q}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \quad (\text{III.37})$$

A fórmula acima, em face do método que descrevemos em III-8.2, nos mostra que, dentro da aproximação à distribuição de Poisson:

a) as curvas (H,Q) poderão ser obtidas independentemente da estimativa do parâmetro  $H/n$ ;

b) as curvas (H,Q) poderão ser obtidas independentemente da estimativa do parâmetro p;

c) fixada uma série de valores de  $m$  (e, assim, de  $Q$ ), uma tabela de valores acumulados da distribuição de Poisson nos dará os correspondentes  $M_x$ ; resultarão os valores de  $H$ , usando-se a fórmula (III.37), desde que tenhamos, previamente, estimado os três, e somente os três, parâmetros seguintes:  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$ .

9.4- Na aproximação da binomial à distribuição normal, teremos, conforme a expressão (III.10), após introduzirmos (III.13):

$$Q - 0,5 \cdot q \leq k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H + c \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H \cdot q \cdot (1-p)} < Q + 0,5q \quad (\text{III.38})$$

de modo que, para o traçado das curvas  $(H, Q)$ , seria necessário conhecer  $p$  ou  $H/n$ . Porém, dentro da aplicabilidade da distribuição de Poisson, a equação (III.10) se escreverá (41, p. 717):

$$Q - 0,5 \cdot q \leq (n \cdot p + c \sqrt{n \cdot p}) q < Q + 0,5 \cdot q \quad (\text{III.39})$$

ou, introduzindo (III.13):

$$Q - 0,5 \cdot q \leq k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H + c \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot q \cdot \sqrt{H}} < Q + 0,5 \cdot q \quad (\text{III.40})$$

onde  $c$ , tendo o mesmo significado dado em (III.9), é praticamente igual a 2,327, expresso na unidade de medida do desvio padrão, ou seja,  $\sqrt{n^{\circ}}$  de peças. (\*)

A expressão (III.40), análogamente a (III.37), permitir-nos-á, para um preestabelecido  $q$ , obter as curvas  $(H, Q)$ , desde que tenhamos estimado, previamente, os parâmetros  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$ . As suas condições de aplicação (41, p. 717) são geralmente satisfeitas para  $n.p > 9$ , o que lhe confere utilidade, pois, com a expressão (III.37), a tabela de Molina nos permitirá ir até  $n.p = 100$ .

Poderemos apresentar (III.40) sob a forma seguinte:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H + c \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot q} \cdot \sqrt{H} \quad (\text{III.41})$$

com a ressalva de que o resultado numérico do segundo membro dessa equação seja arredondado a um múltiplo inteiro de  $q$ , ressalva essa que só terá sentido prático em se tratando de valores pequenos de  $Q$ , relativamente a  $q$ .

(\*) Notar, para efeito de análise dimensional, que  $q$  é uma vazão, por peça.

Considerando (III.7), poderemos também escrever:

$$Q = M_{Q_x} + c\sqrt{q} \cdot \sqrt{M_{Q_x}} \quad (\text{III.42})$$

9.5- Será útil introduzirmos, neste ponto, os conceitos de número equivalente de habitantes e fator de equivalência entre habitantes.

Definamos um número  $H$  de habitantes, pertinentes a uma rede que tenha determinadas características, como sendo equivalente a um número  $H'$  de habitantes, relativos a outra rede com características diferentes da primeira, quando a eles corresponder, nas redes respectivas, uma mesma vazão máxima provável,  $Q$ . A relação entre  $H$  e  $H'$ , que representaremos por  $F_H$ , denominemos fator de equivalência entre habitantes:

$$F_H = \frac{H}{H'} \quad (\text{III.43})$$

A partir de (III.37), concluimos que, se as duas redes tiverem o mesmo tipo de peça (isto é, se  $q = q'$ ), para que  $Q = m \cdot q$  seja igual

a  $Q' = m' \cdot q'$ , será preciso que  $m = m'$ , resultando:

$$M_x = M'_x$$

Ô que, dentro da distribuição de Poisson, nos leva a afirmar que, em <sup>com peças</sup> rêdes ~~de~~ tipo uniforme, o número de habitantes, relativo a uma da da vazão máxima provável, é inversamente proporcional a  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$ . Ou seja, em rêdes com peças de tipo uniforme:

$$F_H = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \quad (\text{III.44})$$

Portanto, para cada tipo de peça, se elaborarmos uma única tabela ou curva da função  $(H, Q)$ , referente a particulares valores dos parâmetros intervenientes, essa mesma tabela ou curva, dentro das condições preconizadas, fornecer-nos-á os valores  $(H', Q')$  relativos a rêdes com outras características. Com efeito, o valor  $Q'$ , pertinente a um genérico  $H'$ , será igual ao valor  $Q$ , dado pela tabela ou curva em correspondência ao  $H$  assim obtido:

$$H = F_H \cdot H' \quad (\text{III.45})$$

9.6- Tendo em vista facilitar as aplicações práticas, apresentemos, no Quadro III-6 e no Quadro III-7, valores (H,Q) referentes a rêdes com peças, respectivamente, de tipo I (q = 0,30 l/s) e de tipo II (q = 1,90 l/s), para o caso particular em que ambas tenham as características seguintes:

$$k_1 = k_2 = 1,50$$

$$v = \frac{200}{86 \cdot 400} \text{ litro/habitante, por segundo}$$

Na Fig. III-2, apresentemos as curvas correspondentes a essas duas tabelas. A Curva I se referirá à rêde com peças de tipo I; a Curva II, às de tipo II.

Para rêdes com outras características, o uso das tabelas (H,Q) supramencionadas, ou das curvas correspondentes, poderá ser feito, conforme (III.44), mediante o seguinte fator de equivalência:

$$F_H = \frac{k_1'}{1,50} \cdot \frac{k_2'}{1,50} \cdot \frac{86400 \cdot H^3}{200} \quad (\text{III.46})$$

Para efeito comparativo, incluíamos, nos quadros III-6 e III-7 e na Fig. III-2, os valores da vazão média, definida em (III.6), a qual, conforme (III.7) e (III.12), assumirá, nos dois casos particulares, a expressão:

$$M_{Q_x} = k \cdot k_2 \cdot v \cdot H = \frac{1,50 \cdot 1,50 \cdot 200}{86400} \cdot H \quad (\text{III.47})$$

Apresentemos também, nos quadros III-6 e III-7, os valores do coeficiente  $k_2$  e dos coeficientes globais decorrentes, sendo  $k_2$ , definido em III-3.5.4, igual à relação entre a vazão máxima provável e a vazão média:

$$k_2 = \frac{Q}{M_{Q_x}} \quad (\text{III.48})$$

Notemos que êsses particulares valores ( $H$ ,  $k_2$ ) poderão ser utilizados em rêdes com outras características, mediante o mesmo fator de equivalência,  $F_H$ , expresso em (III.46).



9.7- As expressões que deduzimos para as relações (H,Q) poderão ser adaptadas às relações (R, Q), pois, de acordo com (III.14) e (III.36):

$$R = \frac{H}{h} \quad (\text{III.49})$$

Em particular, poderemos definir, analogamente, os conceitos de número equivalente de prédios e fator de equivalência entre prédios. Este último, será expresso por:

$$F_R = \frac{R}{R'} \quad (\text{III.50})$$

E assumirá, em correspondência a (III.44), a forma seguinte:

$$F_R = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot \frac{h'}{h} \quad (\text{III.51})$$

Nos quadros III-6 e III-7, juntamente com as relações (H,Q), apresentemos valores (R,Q) relativos àquelas duas rêdes particulares mencionadas, sob a condição complementar seguinte:

$$h = 5 \text{ hab/prédio}$$

em ambas as rêdes. Em correspondência a (III.46), teremos:

$$F_R = \frac{k_1'}{4,50} \cdot \frac{k_2'}{1,50} \cdot \frac{86400 \cdot v'}{200} \cdot \frac{h'}{5} \quad (\text{III.52})$$

Quadro III-6

Valores de Q,  $M_{Qx}$  e coeficientes, em função de H e R

para

$$q = 0,30 \text{ l/s}; k_1 = k_2 = 1,50; v = \frac{200}{86 \cdot 400} \text{ l/hab.s}$$

Nº de habitantes H	Nº de prédios R	Vazão máx. provável Q (l/s)	Vazão média $M_{Qx}$ (l/s)	$k_3$ Q/ $M_{Qx}$	$k_2 \cdot k_3$ 1,50 · $k_3$	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 2,25 · $k_3$
29	6	0,90	0,15	6,00	9,00	13,50
52	10	1,20	0,27	4,44	6,66	9,99
75	15	1,50	0,39	3,85	5,78	8,66
104	21	1,80	0,54	3,33	5,00	7,49
138	28	2,10	0,72	2,92	4,38	6,57
173	35	2,40	0,90	2,67	4,01	6,01
207	41	2,70	1,08	2,50	3,75	5,63
242	48	3,00	1,26	2,38	3,57	5,36
317	63	3,60	1,65	2,18	3,27	4,91
392	78	4,20	2,04	2,06	3,09	4,64
472	94	4,80	2,46	1,95	2,93	4,39
559	112	5,40	2,91	1,86	2,79	4,19
639	128	6,00	3,33	1,80	2,70	4,05
858	172	7,50	4,47	1,68	2,52	3,78
1 094	219	9,00	5,70	1,58	2,37	3,56
1 555	311	12,00	8,10	1,48	2,22	3,33
2 074	415	15,00	10,81	1,39	2,09	3,13
4 550	910	30,00	23,71	1,27	1,91	2,86
10 000	2 000	61,20	52,10	1,17	1,76	2,63
15 000	3 000	89,10	78,20	1,14	1,71	2,57
25 000	5 000	145,00	130,00	1,12	1,68	2,52
40 000	8 000	227,00	208,00	1,09	1,64	2,45
60 000	12 000	335,00	313,00	1,07	1,61	2,41
80 000	16 000	443,00	417,00	1,06	1,59	2,39
100 000	20 000	550,00	521,00	1,06	1,59	2,39
200 000	40 000	1 080,00	1 040,00	1,04	1,56	2,34
300 000	60 000	1 610,00	1 560,00	1,03	1,55	2,32
500 000	100 000	2 670,00	2 610,00	1,02	1,53	2,30
1 000 000	200 000	5 300,00	5 210,00	1,02	1,53	2,30

## Quadro III-7

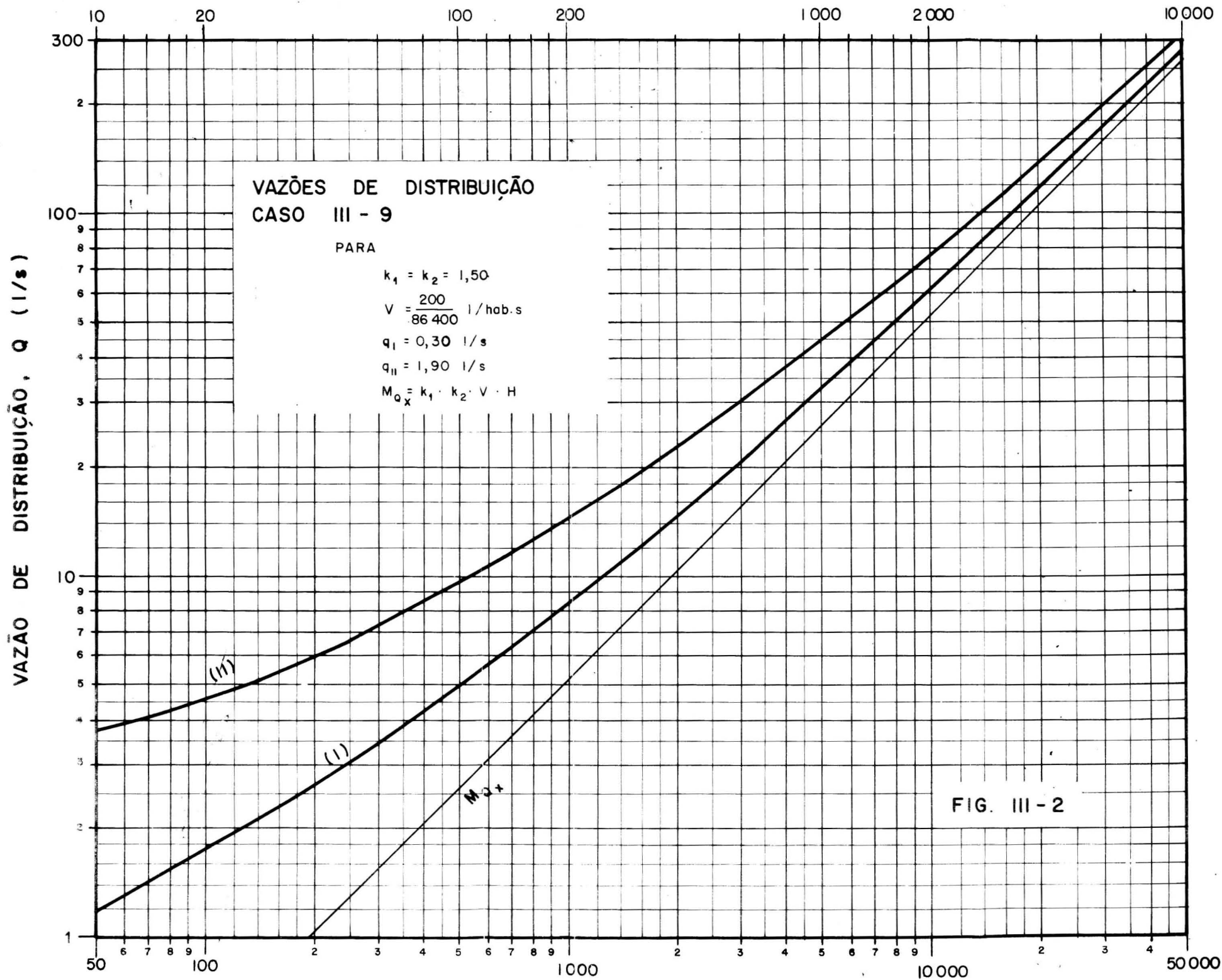
Valores de Q,  $M_{Qx}$  e coeficientes, em função de H e R

para

$$q = 1,90 \text{ l/s}; k_1 = k_2 = 1,50; v = \frac{200}{86 \cdot 400} \text{ l/hab.s}$$

Nº de habitantes H	Nº de prédios R	Vazão máx. provável Q (l/s)	Vazão média $M_{Qx}$ (l/s)	$k_3$ Q / $M_{Qx}$	$k_2 \cdot k_3$ 1,50 · $k_3$	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 2,25 · $k_3$
55	11	3,80	0,29	13,10	19,65	29,48
182	36	5,70	0,95	6,00	9,00	13,50
328	66	7,60	1,71	4,44	6,66	9,99
474	95	9,50	2,47	3,85	5,78	8,66
657	131	11,40	3,42	3,33	5,00	7,49
876	175	13,30	4,56	2,92	4,38	6,57
1 094	219	15,20	5,70	2,67	4,01	6,01
1 313	263	17,10	6,84	2,50	3,75	5,63
1 532	306	19,00	7,98	2,38	3,57	5,36
2 006	401	22,80	10,45	2,18	3,27	4,91
2 481	496	26,60	12,93	2,06	3,09	4,64
2 991	598	30,40	15,58	1,95	2,93	4,39
3 539	708	34,20	18,44	1,85	2,78	4,16
4 049	810	38,00	21,10	1,80	2,70	4,05
5 436	1 087	47,50	28,32	1,68	2,52	3,78
6 931	1 386	57,00	36,11	1,58	2,37	3,56
9 850	1 970	76,00	51,32	1,48	2,22	3,33
13 133	2 627	95,00	68,42	1,39	2,09	3,13
28 819	5 764	190,00	150,00	1,27	1,91	2,86
40 000	8 000	255,00	208,00	1,23	1,85	2,77
60 000	12 000	369,00	313,00	1,18	1,77	2,66
80 000	16 000	481,00	417,00	1,15	1,73	2,59
100 000	20 000	593,00	521,00	1,14	1,71	2,57
200 000	40 000	1 140,00	1.040,00	1,10	1,65	2,48
300 000	60 000	1 690,00	1 560,00	1,08	1,62	2,43
500 000	100 000	2 770,00	2 610,00	1,06	1,59	2,39
1 000 000	200 000	5 440,00	5 210,00	1,04	1,56	2,34

NÚMERO DE PRÉDIOS, R



9.8- Antes de prosseguir, procuremos situar o método de cálculo em estudo, em face de outros métodos de nosso conhecimento, por meio de uma breve comparação. Estes últimos, em têrmos gerais, poderemos dizer que se baseiam em fórmulas "rígidas", relativamente a um ou mais fatôres intervenientes nas vazões de distribuição.

9.8.1- O método baseado no coeficiente de distribuição em marcha constante - expresso por comprimento unitário, área unitária ou habitante - é o que tem sido usado com maior generalidade pelos projetistas de rêdes públicas de distribuição de água. Na Fig. III-2, os valores pertinentes a este método são fornecidos pela reta  $M_{Q_x}$ ; é evidente a sua discordância com as vazões indicadas pelas curvas (I) e (II). Poderemos obter uma idéia mais clara da inadequação do método do coeficiente constante, confrontando as grandezas expressas nos quadros III-6 e III-7 com as nossas conclusões exaradas em III-3.5.4.

No Quadro II-6, cujas rêdes intervenientes provêm do método do coeficiente constante, poderemos apreciar a extensão de canalizações afetadas por vazões de distribuição cujos valo

res seriam sensivelmente discrepantes, se confrontados com os resultados apontados pelo método de cálculo em estudo.

Consideremos, a seguir, outros métodos, dignos de menção embora menos usuais e, comparemo-los também com o método que estamos estudando.

9.8.2- Por se tratar de problemas congêneres, vejamos quais as vazões de distribuição que resultarão em uma rede pública, usando-se a fórmula recomendada pela A.B.N.T. (34, p.15) para a estimativa das vazões de dimensionamento das canalizações prediais de água fria. Essa fórmula poderá ser escrita assim:

$$Q = 0,30 \sqrt{R \cdot \sum (\text{pesos})}$$

onde Q é a vazão em litros/segundo, R é o número de prédios (economias) abastecidos e  $\sum(\text{pesos})$  é o peso global médio das peças de utilização, por prédio.

Suponhamos abastecimento predominantemen

te residencial, com  $h = 5$  habitantes/residência, abrangendo os seguintes dois casos a serem tratados em separado:

a)  $\sum(\text{p\u00e9sos}) = 4,1$  em resid\u00eancias contendo bacia sanit\u00e1ria com caixa de descarga;

b)  $\sum(\text{p\u00e9sos}) = 43,8$  em resid\u00eancias contendo bacia sanit\u00e1ria com v\u00e1lvula de descarga.

Esses valores prov\u00eam do Quadro III-8, onde discriminamos os aparelhos de uma instala\u00e7\u00e3o admitida como m\u00e9dia, com os pesos das respectivas pe\u00e7as de utiliza\u00e7\u00e3o conforme estipulados pela A.B.N.T.

Quadro III-8

<u>Aparelhos</u>	<u>P\u00e9sos (ABNT)</u>	
Bacia sanit\u00e1ria com caixa de des.	0,3	-
Bacia sanit\u00e1ria com v\u00e1lvula de des.	-	40,0
Banheira .....	1,0	1,0
Bid\u00ea .....	0,1	0,1
Chuveiro .....	0,5	0,5
Lavat\u00f3rio .....	0,5	0,5
Pia de cozinha .....	0,7	0,7
Tanque de lavar .....	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>
$\sum(\text{p\u00e9sos})$	4,1	43,8



Na Fig. III-3, tracemos os gráficos (R, Q) e (H, Q) correspondentes. Serão constituídos por duas retas, (1) e (2), as quais se referirão, respectivamente, a residências com caixa de descarga, C.D., e com válvula de descarga, V.D. Ficará evidente a inconsistência dessas retas, em face da conformação probabilística demarcada pelas curvas (I) e (II).

9.8.3- Examinemos um procedimento análogo ao anterior, substituindo a fórmula da A.B. N.T. pelo método proposto por Hunter (45). Computemos o peso global médio dos aparelhos, por prédio, usando a tabela do N.B.S., National Bureau of Standards (46, p.40).

Em correspondência à instalação predial exposta no Quadro III-8, consignaremos, agora, os pesos ("fixture units") seguintes:

- a) Residência tendo banheiro provido de bacia sanitária com C.D. 10 unid/prédio
  
- b) Residência tendo banheiro provido de bacia sanitária com V.D. 12 unid/prédio

A partir dêsses pesos globais médios por prédio, determinemos, nas curvas de Hunter, duas séries de valores (R,Q). Levaremos essa determinação até o limite de 30 000 "fixture units", recorrendo ao prolongamento daquelas curvas para grandes edifícios, conforme Manas (49, p.24-17).

Na Fig. III-3, tracemos os gráficos (R, Q) e (H,Q) correspondentes. Obteremos as curvas (3) e (4), para residências com caixa de descarga e válvula de descarga, respectivamente. Poderemos notar que a curva (3) acusa anomalias, inclusive tendendo a guardar paralelismo com a curva (4), o que decorre de hipóteses simplificadoras introduzidas por Hunter. Outrossim, a posição de ambas as curvas, no diagrama, depende dos aludidos pesos, grandezas imaginadas por Hunter como artifício para resolver o problema teórico, grandezas essas arbitradas, com certo empirismo, pelo N.B.S.

#### 9.8.4- Fórmula de Flores

O Prof. Flores (54, p.37) propôs uma fórmula para cálculo das vazões de distribuição, a qual, dentro do nosso sistema de notação, assim se escreve:

$$Q = \frac{12 \cdot v \cdot H}{\log H}$$

Açotando:

$$v = \frac{200}{86 \cdot 400} \text{ l/hab.s}$$

vem:

$$Q = 0,02778 \frac{H}{\log H}$$

Na Fig. III-3, tracemos a curva (5), representativa desta equação. Como poderemos vêr, trata-se de uma fórmula capaz de fornecer resultados melhores que o método do coeficiente de distribuição em marcha constante, embora seja "rígida" em relação ao tipo de peças de utilização e aos fatores de variação sazonal intervenientes.

#### 9.8.5- Tabela de Taylor

Com base em consumos medidos diretamente, acrescidos de percentagens destinadas a considerar hipótéticas estiágens mais desfavoráveis, Taylor (4, p.R-136) elaborou uma tabela de vazões de distribuição destinadas ao di

mensionamento de rêdes onde não se requeira serviço contra o fogo. É uma tabela (R,Q), isto é, dá a vazão em função do número de prédios. Todos os prédios são assimilados aos de ocupação residencial, com bacias sanitárias dotadas de caixa de descarga (peças de utilização de tipo I). As vazões são apresentadas em função de 4 classes de distribuição, caracterizadas por quatro níveis de habitação considerados como típicos da classe.

Admitiremos, dentro do estudo comparativo que estamos empreendendo, a Classe 2 como a que melhor se enquadra ao nosso caso. Eventualmente, poderá ser a Classe 3. Taylor caracteriza-as da forma seguinte.

a) Classe 2.- Pequenas casas com um banheiro, em lote pequeno. Pequenas casas de aluguel, simples ou duplas (geminadas). Muito pouca rega de jardim. Cada lado de uma casa dupla ("duplex") é considerada como uma residência.

b) Classe 3.- Casas com 2 a 3 quartos, em média com boas subdivisões, 80% tendo um banheiro e 20% tendo dois banheiros. Casas de propriedade do ocupante, com quantidade média de gramados e arbustos, requerendo quantidade média de água para irrigação.

Representemos, na Fig. III-3, os valores (R,Q), dados por Taylor, com R indo de 10 a 500 casas, para as duas classes acima. Serão os gráficos (6) e (7), este último praticamente coincidente com o gráfico (1). Como se poderá vêr, os dados de Taylor também conduzem a uma representação gráfica por meio de reta.

#### 9.8.6- Curva de Davies

Delwyn G. Davies (3, p.41) preparou, tentativamente, um gráfico representando a relação provável entre a "possible maximum load ratio" (corresponde a  $Q/Q_A$ , na nossa notação) e o número de habitantes servidos. Valores dessa relação, extraídos do mencionado gráfico, acham-se expostos abaixo:

H (hab.)	$Q/Q_A$	H (hab.)	$Q/Q_A$
5 000	10,0	50 000	2,9
6 000	8,9	60 000	2,7
7 000	8,2	70 000	2,5
8 000	7,6	90 000	2,4
9 000	7,1	100 000	2,3
10 000	6,7	200 000	2,1
20 000	4,5	300 000	2,1
30 000	3,7	400 000	2,0
40 000	3,2	500 000	2,0

Adotando:

$$Q_A = \frac{200}{86\ 400} \cdot H$$

em litros/segundo, tracemos a curva (H,Q), representando-a como gráfico (8), na Fig. III-3.

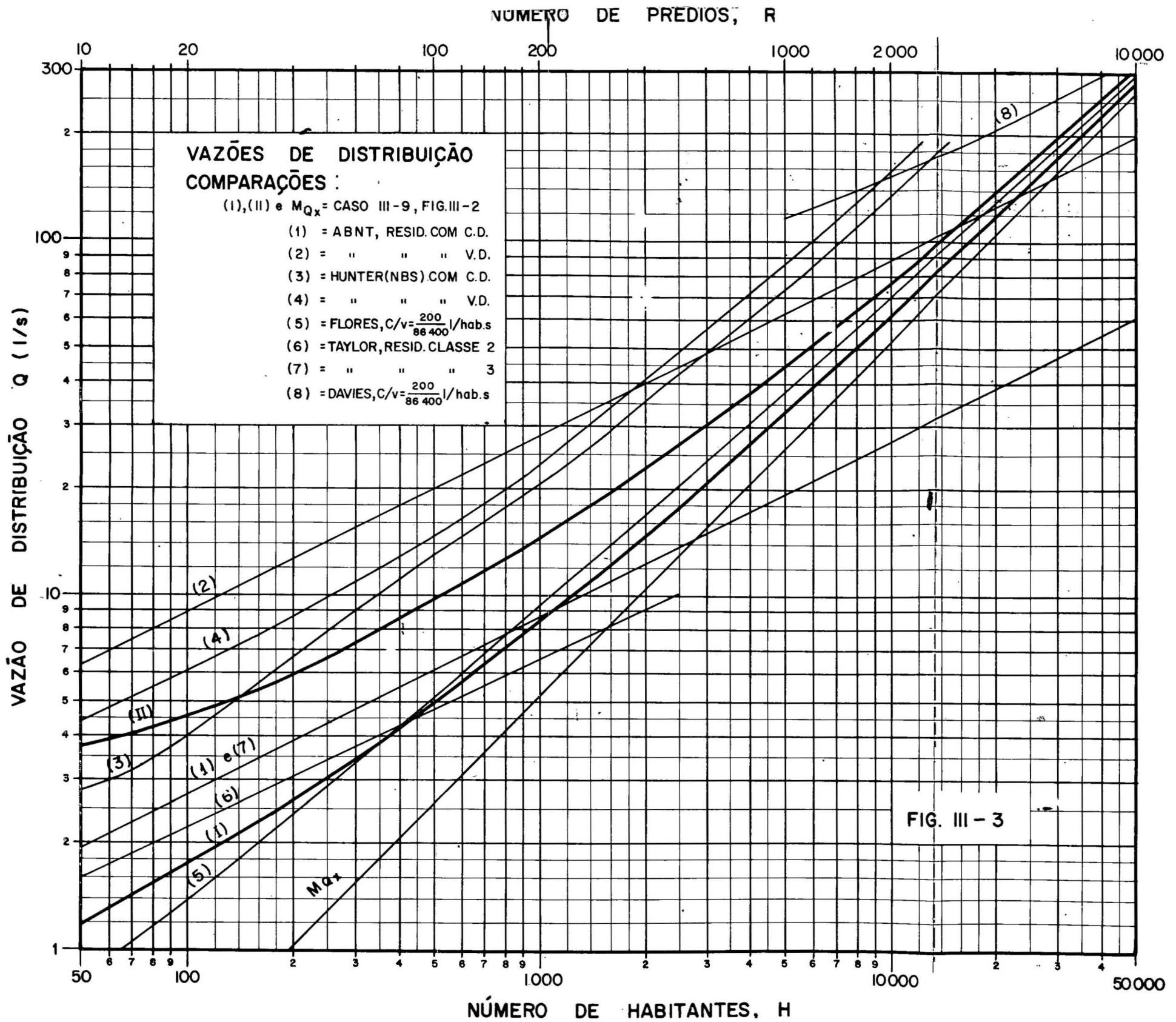


FIG. III - 3

10- Curvas (H,Q) e (R,Q) em rêdes com peças de tipo heterogêneo.

10.1- Dentro da aproximação à distribuição de Poisson, as séries de valores  $(m_I, m_{II})$ , a serem determinadas por meio da expressão (III.20), ficarão completamente definidas se conhecermos os valores das médias  $M_{x_I}$  e  $M_{x_{II}}$ .

Por outro lado, conforme (III.21):

$$M_{x_I} = n_I \cdot p_I = (1-b)k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H \left( \frac{1}{q_I} \right) \quad (\text{III.53})$$

$$M_{x_{II}} = n_{II} \cdot p_{II} = b \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H \left( \frac{1}{q_{II}} \right)$$

Concluimos, portanto, que:

a) as curvas (H,Q) poderão ser obtidas independentemente da estimativa dos parâmetros  $H/n_I$ ,  $H/n_{II}$ ,  $p_I$  e  $p_{II}$  ;

b) sendo  $q_I$  e  $q_{II}$  conhecidos, poderemos obter as curvas (H,Q), desde que tenhamos estimado, previamente, os parâmetros  $b$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$ ;

c) dois números,  $H$  e  $H'$ , de habitantes abastecidos por rêdes com aparelhos de tipos heterogêneos (tipos I e II, em ambas as rêdes), serão equivalentes, se a ambos corresponderem os mesmos valores, respectivamente, de  $M_{x_I}$  e  $M_{x_{II}}$ ;

d) ambas as médias serão, diretamente, proporcionais a  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$ ;

e) se fixarmos um valor para  $M_{x_{II}}$ , os valores de  $M_{x_I}$  e  $H$  ficarão determinados pelas seguintes expressões, deduzidas de (III.53):

$$n_I \cdot p_I = \frac{1-b}{b} \cdot \frac{q_{II}}{q_I} \cdot n_{II} \cdot p_{II}$$

(III.54)

$$H = \frac{1}{b} \cdot \frac{q_{II}}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot n_{II} \cdot p_{II}$$

10.2- Como consequência das três últimas conclusões, poderemos exprimir o fator de equivalência entre habitantes, para duas rêdes que tenham o mesmo parâmetro  $b$ .



Isto é, para  $b = b'$ :

$$F_H = \frac{H}{H'} = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \quad (\text{III.55})$$

expressão que, formalmente, coincide com (III.44).

10.3- Tendo em vista facilitar as aplicações práticas, apresentemos, no Quadro III-10, valores (H,Q) referentes a rêdes com o parâmetro  $b$ , respectivamente, igual a 25%, 50% e 75%, para o caso particular em que essas três rêdes tenham as seguintes características em comum:

$$k_1 = k_2 = 1,50$$

$$v = \frac{200}{86\ 400} \text{ litro/habitante, por segundo}$$

Precedendo o Quadro III-10, resumamos, no Quadro III-9, dados informativos sôbre a obtenção dos valores (H,Q) mais desfavoráveis.

Na Fig. III-4, apresentemos as curvas (H, Q) correspondentes aos três casos em refe-

rência. Tracemos, também, a Curva I e a Curva II, que já haviam sido expostas na Fig. III-2, as quais, conforme é agora oportuno salientar, constituirão dois outros casos particulares, onde, respectivamente:

$$b = 0$$

e

$$b = 100\%$$

Para rêdes com outras características, dentro das condições mencionadas, poderemos usar a mesma tabela ou curvas, mediante aplicação do fator <sup>de</sup> equivalência. Este será calculado pela fórmula (III.55).

Analogamente ao procedido em III-9.6, incluamos, no Quadro III-10, os valores de  $M_{Q_i}$  de  $k_3$  e dos coeficientes globais decorrentes. E, também, as relações (R,Q), sendo R expresso por (III. 49), com fator de equivalência,  $F_R$ , dado por (III. 51).

Quadro III-9

Valores ( $m_I, m_{II}$ ) e (H, Q) mais desfavoráveis (\*)para  $k_1 = k_2 = 1,50$ ;  $v = \frac{200}{86\ 400}$  l/hab.s

b	$m_{II}$	$p_{m_{II}}^{n_{II}}$	$n_{II} \cdot p_{II}$	H	$n_I \cdot p_I$	$0,01/p_{m_{II}}^{n_{II}}$	$m_I$	Q
0,25	1	0,0196	0,02	30	0,380	0,510	0	1,90
	2	0,0109	0,16	234	3,04	0,917	1	4,10
	3	0,0126	0,50	730	9,50	0,794	7	7,80
	4	0,0111	0,90	1 314	17,1	0,901	12	-
	3	0,0494	0,90	1 314	17,1	0,212	20	11,70
	5	0,0111	1,4	2 043	26,6	0,901	20	-
	4	0,0395	1,4	2 043	26,6	0,253	30	16,60
	6	0,0120	2,0	2 919	38,0	0,833	32	-
	5	0,0361	2,0	2 919	38,0	0,277	42	22,10
	10	0,0104	4,5	6 567	85,5	0,962	69	-
	9	0,0232	4,5	6 567	85,5	0,431	87	43,20
11	0,0104	5,2	7 588	98,8	0,962	82	-	
10	0,0220	5,2	7 588	98,8	0,455	100	49,0	
0,50	1	0,0196	0,02	15	0,127	0,510	0	1,90
	2	0,0109	0,16	117	1,01	0,917	0	3,80
	3	0,0126	0,50	365	3,17	0,794	2	6,30
	4	0,0111	0,90	657	5,70	0,901	3	8,50
	5	0,0111	1,4	1 022	8,87	0,901	5	11,00
	6	0,0120	2,0	1 460	12,7	0,833	9	14,10
	10	0,0104	4,5	3 284	28,5	0,962	19	-
	9	0,0232	4,5	3 284	28,5	0,431	29	25,80
	18	0,0104	10,5	7 661	66,5	0,962	52	-
	17	0,0177	10,5	7 661	66,5	0,565	65	51,80
	23	0,0100	14,5	10 580	91,8	1,000	64	-
	22	0,0159	14,5	10 580	91,80	0,629	89	68,50
0,75	1	0,0196	0,02	10	0,042	0,510	0	1,90
	2	0,0109	0,16	78	0,338	0,917	0	3,80
	3	0,0126	0,50	244	1,06	0,794	0	5,70
	4	0,0111	0,90	438	1,90	0,901	0	7,60
	5	0,0111	1,4	681	2,96	0,901	1	9,80
	6	0,0120	2,0	973	4,22	0,833	2	12,00
	10	0,0104	4,5	2 189	9,50	0,962	4	20,20
	18	0,0104	10,5	5 108	22,2	0,962	14	-
	17	0,0177	10,5	5 108	22,2	0,565	21	38,60
	25	0,0154	17,0	8 269	35,9	0,649	34	57,70
	29	0,0125	20,0	9 728	42,2	0,800	37	66,20

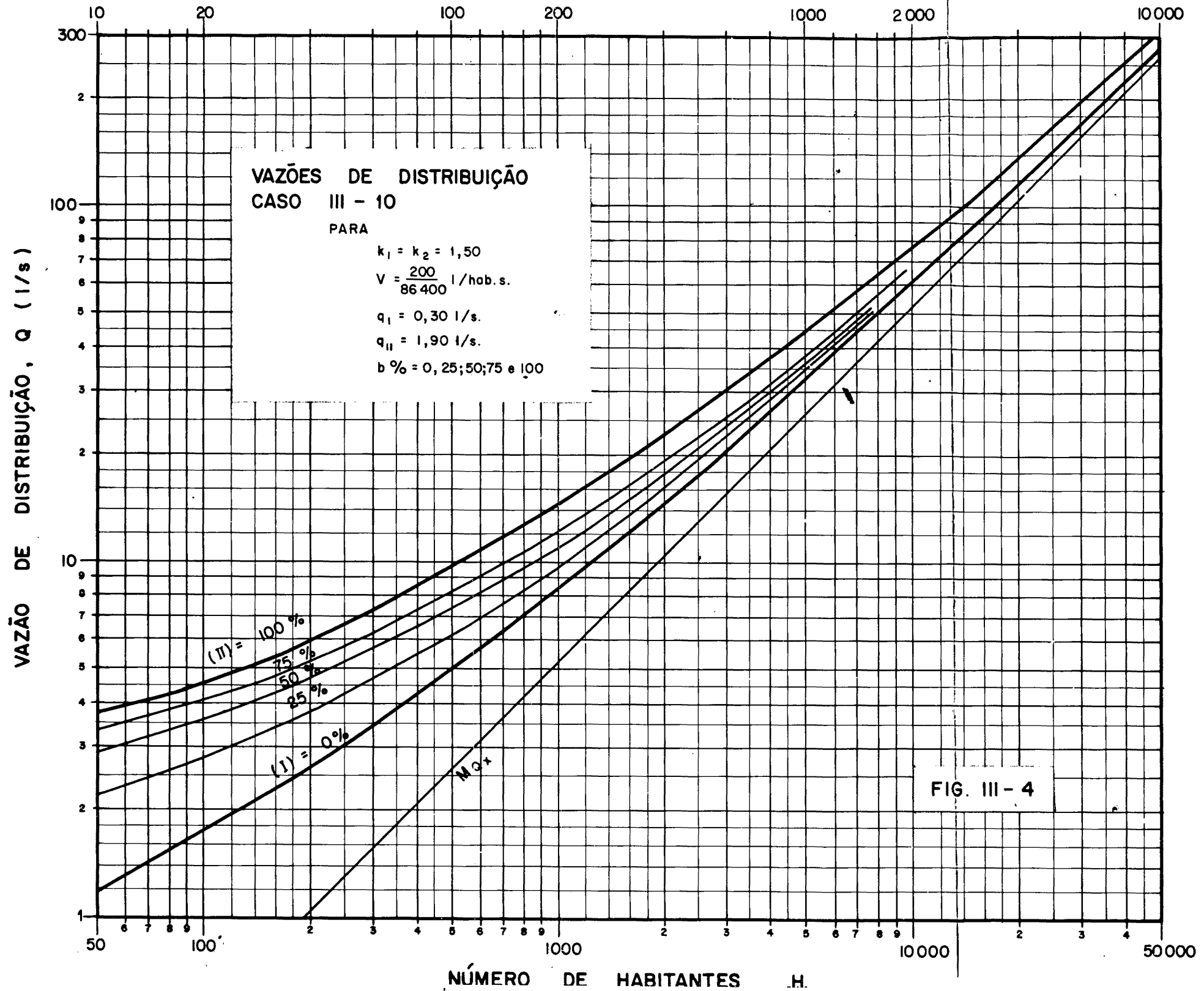
(\*) Os valores individuais e acumulados das probabilidades foram baseados na tabela de Molina.

Quadro III-10

Valores de Q,  $M_{Q_x}$  e coeficientes, em função de H e Rpara  $k_1 = k_2 = 1,50$ ;  $v = \frac{200}{86\ 400}$  l/hab.s

b	H	R	Q (l/s)	$M_{Q_x}$ (V)	$k_3$	$k_2 \cdot k_3$	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$
25%	30	6	1,90	0,16	11,88	17,82	26,73
	234	47	4,10	1,22	3,36	5,04	7,56
	730	146	7,80	3,80	2,05	3,08	4,61
	1 314	263	11,70	6,85	1,71	2,57	3,85
	2 043	409	16,60	10,64	1,56	2,34	3,51
	2 919	584	22,10	15,21	1,45	2,18	3,26
	6 567	1 313	43,20	34,21	1,26	1,89	2,84
	7 588	1 518	49,00	39,53	1,24	1,86	2,79
50%	15	3	1,90	0,08	23,75	35,63	53,44
	117	23	3,80	0,61	6,23	9,35	14,02
	365	73	6,30	1,90	3,32	4,98	7,47
	657	131	8,50	3,42	2,49	3,74	5,60
	1 022	204	11,00	5,32	2,07	3,11	4,66
	1 460	292	14,10	7,61	1,85	2,78	4,16
	3 284	657	25,80	17,11	1,51	2,27	3,40
	7 661	1 532	51,80	39,91	1,30	1,95	2,93
	10 580	2 116	68,50	55,12	1,24	1,86	2,79
	75%	10	2	1,90	0,05	38,00	57,00
78		16	3,80	0,41	9,27	13,91	20,86
244		49	5,70	1,27	4,49	6,74	10,10
438		88	7,60	2,28	3,33	5,00	7,49
681		136	9,80	3,55	2,76	4,14	6,21
973		195	12,00	5,07	2,37	3,56	5,33
2 189		438	20,20	11,40	1,77	2,66	3,98
5 108		1 022	38,60	26,61	1,45	2,18	3,26
8 269		1 654	57,70	43,08	1,34	2,01	3,02
9 728		1 946	66,20	50,68	1,31	1,97	2,95

NUMERO DE PREDIOS, R



11- Introdução dos fatores de perda no cálculo das vazões de distribuição.

11.1- Hipóteses de cálculo.

Nos estudos precedentes, supuzemos que a vazão de distribuição,  $Q$ , fôsse apenas resultante do funcionamento, casualmente simultâneo, de um certo número de peças de utilização em regime intermitente.

Na prática, ocorrem certas demandas de água que não se conformam com essa hipótese. Tratam-se de escoamentos contínuos durante a hora de maior consumo, solicitados por vazamentos causadores de perdas.

Admitamos que os referidos vazamentos contínuos se processem com vazão constante em relação ao tempo, durante o intervalo de máximo consumo horário. E que a sua ocorrência seja independente da operação das peças de utilização. De modo que, num instante casual, a vazão em uma secção genérica da rêde será exatamente igual à vazão de operação conjunta das  $x$  peças que estejam em funcionamento nesse instante, somada à vazão atribuível às perdas ocorrentes à jusan

te da secção em consideração.

### 11.2- Expressão das vazões de distribuição

Partindo da fórmula (III.1), escrevamos agora:

$$Q = m.q + E \quad (III.56)$$

onde E é a vazão causada pelas perdas.

### 11.3- Considerações sôbre os fatores de perda.

11.3.1- O valor de E depende da qualidade de construção e manutenção das instalações públicas e particulares, qualidade essa relacionada à eficiência da administração do sistema público de abastecimento. Depende, também, do número de eventos que possam dar causa a vazamentos e do tamanho desses vazamentos. Ou seja, poderemos admitir que varie linearmente com o número de juntas (e, assim, com o comprimento) e diâmetro da canalização pública, com o

número, diâmetro e extensão dos ramais prediais e com o número de peças de utilização; e, ainda, que varie com a raiz quadrada da pressão hidráulica vigente.

Quantitativamente, de acôrdo com a sua localização, escrevamos:

$$E = E_p + E_R + E_s \quad (\text{III.57})$$

onde  $E_p$ ,  $E_R$  e  $E_s$  são as vazões causadas pelos fatores de perda, respectivamente, na rêde pública pròpriamente dita, nos ramais prediais e nas instalações prediais.

11.3.2- O valor de  $E_p$  poderá ser expreso como:

$$E_p = E_{op} \cdot \sum j_i \cdot L_i \cdot D_i \sqrt{P_i} \quad (\text{III.58})$$

onde  $j_i$ ,  $L_i$ ,  $D_i$  e  $P_i$  são, respectivamente, o número de juntas por unidade de comprimento, o comprimento, o diâmetro e a pressão (na hora de máximo consumo) de cada trecho, sendo a somatória estendida a todos os trechos situados à jusante da secção genérica em consideração.



Devendo-se notar que  $j_i$ .  $L_i$  representa o número de juntas no trecho de ordem  $i$ .

O fator  $E_{\phi}$  exprime a perda específica nas tubulações públicas, isto é, a vazão perdida quando os demais fatores - número de juntas, diâmetro e pressão - se reduzem ao valor unitário.  $E$ , pois, um coeficiente capaz de bem caracterizar a qualidade de construção e manutenção da rede pública.

A American Water Works Association, nas suas especificações para construção de tubulações de ferro fundido (55, p.15), preconiza que não se aceite nenhuma canalização enquanto a perda respectiva não fôr menor que o número de galões por hora dado pela fórmula:

$$L = \frac{N \cdot D \sqrt{P}}{1850}$$

em que,  $L$  é a perda admissível, em galões por hora;  $N$  é o número de juntas na extensão de linha submetida ao ensaio de vazamento;  $D$  é o diâmetro nominal da canalização, em polegadas; e  $P$  é a pressão média durante o ensaio, em libras por polegada quadrada (usualmente estabelecida como a máxima pressão para a localidade,

atuando no ponto mais baixo da linha).

Essa especificação nos sugere inferir que, em rêdes novas, o fator  $E_{op}$  deverá ser menor que 1/1 850, nas unidades mencionadas. Ou seja, inferior a 0,000 304 litros por hora, por junta, por milímetro de diâmetro nominal e por  $(\text{kg}^*/\text{cm}^2 \text{ de pressão})^{0,5}$ . Ou ainda, menor que 0,05 litros por hora, por quilómetro de rêde, por milím metro de diâmetro nominal e por  $(\text{kg}^*/\text{cm}^2 \text{ de pressão})^{0,5}$ , se admitirmos uma junta em cada seis metros de canalização.

11.3.3- Anàlogamente, poderemos exprimir  $E_R$  e  $E_S$  da seguinte forma:

$$E_R = E_{OR} \cdot \sum l_i \cdot R_i \cdot d_i \sqrt{P_i} \quad (\text{III.59})$$

$$E_S = E_{OS} \cdot \sum N_i \cdot R_i \sqrt{P_i}$$

onde  $E_{OR}$  é a perda específica nos ramais prediais;  $l_i$  é a extensão de ramal predial, por prédio, em cada trecho;  $R_i$  é o número de prédios por trecho;  $d_i$  é o diâmetro dos ramais prediais, por trecho;  $E_{OS}$  é a perda específica nas instalações prediais;  $N_i$  é o número de peças de utilização por prédio, em cada trecho; as soma-

tórias sendo estendidas a todos os trechos situados à jusante da secção em consideração.

11.3.4- Na prática, como  $j_i$ ,  $l_i$  e  $N_i$  são aproximadamente constantes; como  $D_i$  varia dentro de intervalo relativamente limitado (de vendo-se notar que as canalizações de grande diâmetro são, comparativamente, em pequeno número); como  $P_i$  também varia dentro de intervalo relativamente limitado; e como, nas fórmulas (III.58) e (III.59),  $\sum L_i$  e  $\sum R_i$  são em regra proporcionais à população  $H$  abastecida e, dessa maneira, proporcionais à vazão média anual  $Q_A$ , poderemos escrever:

$$E = E_0 \cdot Q_A \quad (\text{III.60})$$

onde  $E_0$ , que em primeira aproximação admitiremos como constante para uma dada rede, representa a fração da vazão média anual consumida pelas perdas.

Aliás, sob a simplificação dêsse modo entendida, é que correntemente têm sido apresentadas as previsões e os resultados de investigações sobre perdas de água no sistema de distribuição.

Geralmente se espera que o valor de  $E_o$  não ultrapasse um limite compreendido entre 10% e 25%. Inclusive entre os norteamericanos, não obstante as pressões e os diâmetros mais elevados, normalmente em uso em seu país. Valores bem maiores para  $E_o$ , todavia, têm sido encontrados em comunidades carecentes de recursos para desenvolver medidas adequadas de controle e manutenção. Neste particular, expressivos são uns dados catalogados pela companhia The Pitometer Associates, em pesquisas que realizou, sobre perdas de água, em cidades hispano-americanas de diversos tamanhos (56, p.43); transcrevamos, êsses dados, no Quadro III-11. Os dados constantes dêste quadro poderão ser considerados também representativos de muitas cidades brasileiras, com serviços tidos como bem operados, conforme depreendemos da leitura de um trabalho de Assis e Victorette (57).

Quadro III-11

Perdas determinadas por estudos pitométricos em várias cidades hispano-americanas

Cida de	População	Consumo to- tal(m <sup>3</sup> /dia)	Perdas determinadas	
			m <sup>3</sup> /dia	Percent. sô- bre o consu- mo total
1	15 000	7 630	3 890	51
2	90 000	13 300	4 140	31
3	260 000	77 600	37 300	48
4	400 000	32 100(*)	14 100	44
5	400 000	107 870	33 530	31
6	800 000	416 350	85 500	21
7	1 000 000	28 400(*)	8 580	30

(\*) Estudo verificado em apenas um setor.

#### 11.4- Determinação das vazões de distribuição.

11.4.1- A solução do problema será obtida considerando a r $\tilde{e}$ de em quest $\tilde{a}$ o como resultante da sobreposi $\tilde{c}$ o das duas r $\tilde{e}$ des fict $\tilde{c}$ ias analisadas a seguir.

11.4.2- R $\tilde{e}$ de com demandas cont $\tilde{c}$ nuas, com vaz $\tilde{a}$ o crescente no sentido de montante.

Nesta r $\tilde{e}$ de, determinaremos a parcela E a ser aplicada na f $\tilde{o}$ rmla (III.56).

Recorrendo às expressões (III.12) e (III.60), teremos:

$$E = E_0 \cdot v \cdot H \quad (\text{III.61})$$

equação que nos permitirá traçar a curva (H,E), conhecidos os parâmetros  $E_0$  e  $v$ .

11.4.3- Rêde com demandas causadas somente por peças de utilização em regime intermitente.

a) A análise desta rêde irá nos fornecer a parcela m.q pertinente à fórmula (III.56).

b) Em uma secção genérica da rêde original, a vazão média,  $M_Q$ , na hora de maior consumo do dia de maior consumo, poderá ser expressa do seguinte modo, por generalização da equação (III.7):

$$M_{Q_x} + G = M_Q = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A \quad (\text{III.62})$$

onde  $M_{Q_x}$  é a vazão média causada por peças de utilização abastecidas diretamente pela rêde e

$G$  é a vazão média oriunda de demandas contínuas à rêde, no período considerado.

Essa expressão nos conduzirá à seguinte:

$$M_{Q_x} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A - G \quad (\text{III.63})$$

Escrevendo, por outro lado:

$$G = G_0 \cdot Q_A \quad (\text{III.64})$$

onde  $G_0$  representa a fração da vazão média anual,  $Q_A$ , abrangida por  $G$ , virá:

$$M_{Q_x} = (k_1 \cdot k_2 - G_0) Q_A \quad (\text{III.65})$$

Conseqüentemente, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, os valores  $(H, m, q)$ , da rêde fictícia abastecedora sòmente de peças de utilização em regime intermitente, poderão ser extraídos das curvas descritas em III-9 e III-10. Com efeito, a aplicabilidade daquelas curvas, em face da presença da grandeza  $G$ , poderá ser proporcionada mediante um fator de equivalência entre habitantes. Em particular, escrevemos:

$$F_H = \frac{k'_1 \cdot k'_2}{k_1 \cdot k_2}$$

onde:

$$k'_1 \cdot k'_2 = k_1 \cdot k_2 - G_0 \quad (\text{III.66})$$

Mercê dessa equivalência, poderemos, as sim, reverter a análise desta rêde fictícia aos procedimentos já examinados anteriormente.

c) No caso particular que estamos tratando, as demandas contínuas à rêde serão decorrentes de apenas os fatores de perda.

$$\text{Portanto: } G = E$$

Introduzindo (III.60), virá:

$$M_{Q_x} = (k_1 \cdot k_2 - E_0) Q_A \quad (\text{III.67})$$

resultando, para (III.66):

$$k'_1 \cdot k'_2 = k_1 \cdot k_2 - E_0 \quad (\text{III.68})$$

11.4.4- Será conveniente consignarmos, abaixo, uma observação e uma ressalva concententes ao método de cálculo que viemos de descrever.



a) Para uma dada vazão média,  $M_Q$ , a introdução de uma vazão contínua uniformemente distribuída sobre a rede, no caso representada pelas perdas, constituirá fator de atenuação do valor da vazão máxima provável,  $Q$ , previsível na secção genérica.

b) A admissão, em (III.60), (III.61) e (III.68), que  $E_0$  é constante no decurso do tempo, constitui hipótese que pecará um pouco contra a segurança. Porque, em verdade, no período de nosso interesse, isto é, na hora de máximo consumo, as pressões dinâmicas na rede serão mínimas e, desse modo,  $E$  será inferior à vazão média anual demandada pelas perdas. A rigor, portanto, aquelas fórmulas encerrariam um fator de correção, denotando um coeficiente para a hora de mínimas perdas. De maneira que, ao invés de  $E_0$ , escreveríamos  $k_E \cdot E_0$ , sendo  $k_E$  inferior a um e função da relação entre a pressão dinâmica na hora de maior consumo e a pressão dinâmica média anual.

#### 11.5- Curvas (H,Q) e (R,Q).

A título de ilustração da aplicação do método, e objetivando visualizar a magnitude da

influência das perdas, apresentemos, a seguir, quatro casos típicos, todos referentes a rêsdes com peças de utilizaçãõ de tipo uniforme. Os parâmetros que os caracterizam estãõ resumidos no Quadro III-12.

Quadro III-12

Caso nº	$k_1 \cdot k_2$	v (l/hab.dia)	q (l/s)	$E_o$
IA	1,5.1,5	200	0,30	25%
IB	1,5.1,5	200	0,30	50%
IIA	1,5.1,5	200	1,90	25%
IIB	1,5.1,5	200	1,90	50%

A fórmula (III.61), nos casos IA e IIA assim se escreverá:

$$E = 0,25 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot H = \frac{H}{1\,728}$$

e, nos casos IB e IIB:

$$E = 0,50 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot H = \frac{H}{864}$$

Conforme (III.66), teremos o seguinte fator de equivalência,  $F_H$ , para reversão da rêde fictícia parcial do Caso IA à Curva I da Fig. III-2:

$$F_H = \frac{1,50 \cdot 1,50 - 0,25}{1,50 \cdot 1,50} = \frac{8}{9}$$

Vemos que cada 9 habitantes da rêde fictícia em aprêço produzirão o mesmo efeito que 8 habitantes da rêde configurada pela Curva I, Fig. III-2.

Da mesma forma, o fator de equivalência, para reversão da rêde fictícia parcial do Caso IIA à Curva II da Fig. III-2, será:

$$F_H = \frac{8}{9}$$

E, para os casos IB e IIB, teremos, respectivamente, em relação às curvas I e II da Fig. III-2:

$$F_H = \frac{1,50 \cdot 1,50 - 0,50}{1,50 \cdot 1,50} = \frac{7}{9}$$

Apresentemos, nos quadros III-13 e III-14, os resultados parciais referentes às rêdes fictícias e os resultados finais obtidos pela

soma. E, para efeito comparativo, também as vazões médias,  $M_Q$ , e os coeficientes decorrentes.

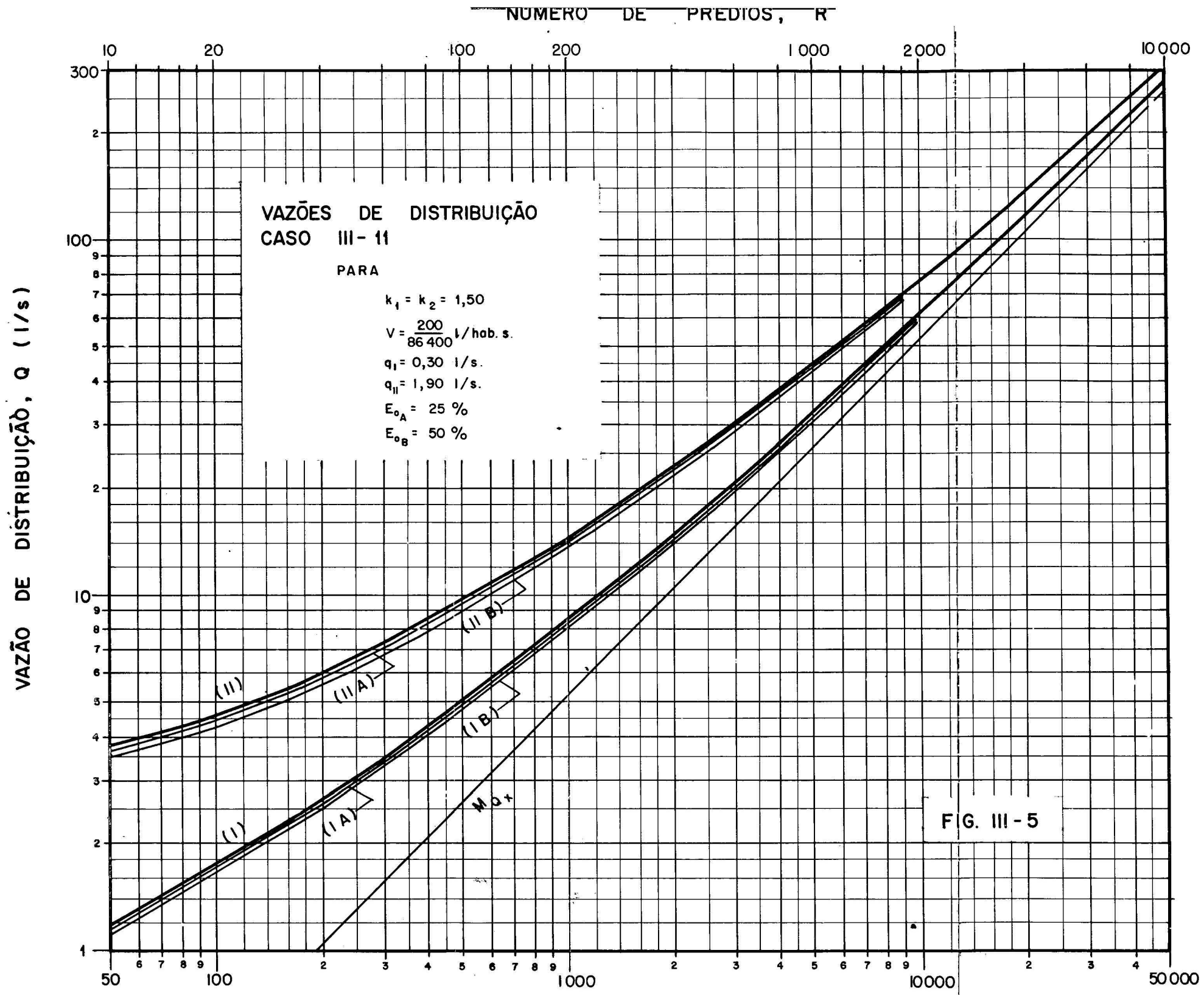
Na Fig. III-5, apresentemos as curvas  $(H,Q)$  correspondentes aos quatro casos em referência. Tracemos, também, a Curva I e a Curva II, que já haviam sido expostas na Fig. III-2, as quais constituirão dois casos particulares, onde  $E_0 = 0$ . Incluamos, ainda, na mesma figura, a representação  $(R,Q)$ , para o parâmetro:

$$h = 5 \text{ hab/prédio.}$$

## Quadro III-13

Valores de Q,  $M_Q$  e coeficientes, em função de Hpara  $q = 0,30$  l/s;  $k_1 = k_2 = 1,50$ ;  $v = \frac{200}{86\ 400}$  l/hab.seg

Caso Nº	H	Peças		E (l/s)	Q (l/s)	$M_Q$ (l/s)	$k_3$	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$
		Nº Eq. de H	Vazão (l/s)					
IA	33	29	0,90	0,02	0,92	0,17	5,41	12,17
	59	52	1,20	0,03	1,23	0,31	3,97	8,93
	84	75	1,50	0,05	1,55	0,44	3,52	7,92
	117	104	1,80	0,07	1,87	0,61	3,07	6,91
	155	138	2,10	0,09	2,19	0,81	2,70	6,08
	233	207	2,70	0,14	2,84	1,21	2,35	5,29
	357	317	3,60	0,21	3,81	1,86	2,05	4,61
	531	472	4,80	0,31	5,11	2,77	1,84	4,14
	719	639	6,00	0,42	6,42	3,74	1,72	3,87
	1 231	1 094	9,00	0,72	9,72	6,41	1,52	3,42
	1 749	1 555	12,00	1,02	13,02	9,11	1,43	3,22
	2 333	2 074	15,00	1,36	16,36	12,15	1,35	3,04
	5 119	4 550	30,00	2,99	32,99	26,66	1,24	2,79
	8 438	7 500	47,10	4,93	52,03	43,95	1,18	2,66
	IB	37	29	0,90	0,04	0,94	0,19	4,95
67		52	1,20	0,08	1,28	0,35	3,66	8,24
96		75	1,50	0,11	1,61	0,50	3,22	7,25
134		104	1,80	0,16	1,96	0,70	2,80	6,30
177		138	2,10	0,21	2,31	0,92	2,51	5,65
266		207	2,70	0,31	3,01	1,39	2,17	4,88
408		317	3,60	0,48	4,08	2,12	1,92	4,32
607		472	4,80	0,71	5,51	3,16	1,74	3,92
822		639	6,00	0,96	6,96	4,28	1,63	3,67
1 407		1 094	9,00	1,64	10,64	7,33	1,45	3,26
1 999		1 555	12,00	2,33	14,33	10,41	1,38	3,11
2 667		2 074	15,00	3,11	18,11	13,89	1,30	2,93
5 850		4 550	30,00	6,83	36,83	30,47	1,21	2,72
9 643		7 500	47,10	11,26	58,36	50,22	1,16	2,61



Quadro III-14

Valores de  $Q$ ,  $M_Q$  e coeficientes, em função de  $H$   
 para  $q = 1,90$  l/s;  $k_1 = k_2 = 1,50$ ;  $v = \frac{200}{26.400}$  l/ab.sar

Caso Nº	H	Peças		E (l/s)	Q (l/s)	$M_Q$ (l/s)	$k_3$	$k_1 k_2 k_3$
		Nº Eq. de H	Vazão (l/s)					
IIA	62	55	3,80	0,04	3,84	0,32	12,00	27,00
	205	182	5,70	0,12	5,82	1,07	5,44	12,24
	369	328	7,60	0,22	7,82	1,92	4,07	9,16
	533	474	9,50	0,31	9,81	2,78	3,53	7,94
	739	657	11,40	0,43	11,83	3,85	3,07	6,91
	986	876	13,30	0,58	13,88	5,14	2,70	6,08
	1 231	1 094	15,20	0,72	15,92	6,41	2,48	5,58
	1 724	1 532	19,00	1,01	20,01	8,98	2,23	5,02
	2 257	2 006	22,80	1,32	24,12	11,75	2,05	4,61
	2 791	2 481	26,60	1,63	28,23	14,54	1,94	4,37
	3 365	2 991	30,40	1,96	32,36	17,52	1,85	4,16
	4 555	4 049	38,00	2,66	40,66	23,72	1,71	3,85
	6 116	5 436	47,50	3,57	51,07	31,85	1,60	3,60
	7 797	6 931	57,00	4,55	61,55	40,61	1,52	3,42
IIB	71	55	3,80	0,08	3,88	0,37	10,49	23,60
	234	182	5,70	0,27	5,97	1,22	4,89	11,00
	422	328	7,60	0,49	8,09	2,20	3,68	8,28
	609	474	9,50	0,71	10,21	3,17	3,22	7,25
	845	657	11,40	0,99	12,39	4,40	2,82	6,35
	1 126	876	13,30	1,31	14,61	5,86	2,49	5,60
	1 407	1 094	15,20	1,64	16,84	7,33	2,30	5,18
	1 970	1 532	19,00	2,30	21,30	10,26	2,08	4,68
	2 579	2 006	22,80	3,01	25,81	13,43	1,92	4,32
	3 190	2 481	26,60	3,72	30,32	16,61	1,83	4,12
	3 846	2 991	30,40	4,49	34,89	20,03	1,74	3,92
	5 206	4 049	38,00	6,08	44,08	27,11	1,63	3,67
	6 989	5 436	47,50	8,16	55,66	36,40	1,53	3,44
	8 911	6 931	57,00	10,40	67,40	46,41	1,45	3,26

IV- CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO  
EM REGIME DE FORNECIMENTO COM REGU  
LARIZAÇÃO.

1- Conceituação do problema

1.1- Em rêdes sob regime de fornecimento com regularização, a vazão a ser distribuída, or dinariamente, em um instante qualquer, é constituída pelas parcelas seguintes:

a) soma das vazões de alimentação dos reservatórios prediais que, nesse instante, não estejam cheios;

b) soma das demandas instantâneas decorrentes de vazamentos causadores de perdas nas canalizações públicas e nas ligações prediais.

Extraordinariamente, acrescentam-se as demandas requeridas por hidrantes, demandas essas a serem computadas separadamente.



1.2- Por razões evidentes, os fatores de utilização e os fatores de perda nas instalações prediais, examinados no Capítulo anterior, continuam a presidir, neste caso, a lei de ocorrência dos valores das vazões que são solicitadas dos reservatórios prediais. O reflexo de tais solicitações, na rede pública, irá condicionar os valores das vazões de distribuição a serem adotadas. E esse reflexo estará na dependência da capacidade regularizadora dos aludidos reservatórios.

1.3- Para a solução do problema, deveremos, pois, analisar a atuação qualitativa e quantitativa dos reservatórios prediais, em sua ação de volante, sobre os valores das vazões de distribuição primitivas, vazões essas determinadas no Capítulo III.

Tal atuação poderá se realizar de diversas maneiras.

## 2- Condições de regularização e vazões de distribuição correspondentes.

2.1- Alimentação dos reservatórios sem limitações específicas.

2.1.1- Neste caso, ao projetarmos a rede, suporemos fornecimento através de reservatórios prediais e não preconizaremos, especificamente, qualquer dispositivo controlador das vazões de alimentação dos referidos reservatórios.

2.1.2- Sabemos contudo que, por motivação estranha ao critério de projeto da rede, determinadas especificações darão uma certa caracterização às canalizações alimentadoras dos reservatórios, canalizações essas, às quais, genericamente, estamos nos referindo com o nome de ligações prediais. Em particular, sabemos que tôdas as ligações descarregarão, nos reservatórios, por meio de uma válvula de flutuador (comumente, também denominada válvula de bóia). E, mais os aspectos apresentados a seguir.

a) Em um prédio qualquer, a vazão de alimentação atingirá um máximo quando a válvula de flutuador se encontrar completamente aberta. E, tenderá a zero, à medida que a válvula fôr se fechando em consequência de enchimento paulatino do reservatório.

b) O valor dessa vazão máxima dependerá da carga hidráulica disponível, variando, em

têrmos gerais, com a raiz quadrada desta. A referida carga hidráulica será dada, em primeira aproximação, pela diferença entre a cota piezométrica da rêde pública, no ponto de inserção do ramal predial, e a cota topográfica do eixo da válvula de flutuador.

c) A carga hidráulica mínima, capaz de movimentar uma vazão de 1,0 litro por segundo, em uma ligação predial típica para a hipótese em consideração, com tubulação de 3/4 de polegada, poderá ser concebida conforme o Quadro IV-1.

Quadro IV-1

<u>Material</u>	<u>Perda de carga (m d'água)</u>
1 Ferrule (*).....	1,4
20 m Tubos f <sup>o</sup> g <sup>o</sup> J=1,16 m/m(\$)...	23,2
2 Registros de gav.L=0,29 m (£)	0,3
4 Curvas 90 <sup>o</sup> , raio longo .....L=1,71 m (£)	2,0
1 Válvula de flutuador .....L=6,40 m (&)	7,4
soma	<u>34,3</u>

- (\*) Segundo Arnold (58, p.746)  
 (\$) Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao (34, p.22)  
 (£) Comprimento equivalente (59, p.513)  
 (&) Assimilada a um registro de globo aberto (59, p. 513).

Vemos que, se a válvula de flutuador estiver localizada a uns 8 metros acima do nível da canalização pública, obter-se-á a referida vazão quando a pressão dinâmica, na rede pública, fôr da ordem de 42 metros de coluna d'água. Para uma vazão de 0,50 litro por segundo, a carga hidráulica disponível deverá ser, aproximadamente:

$$34,3 \left( \frac{0,5}{1,0} \right)^2 = 8,6 \text{ m d'água.}$$

e, assim, resultará, para pressão dinâmica mínima, na rede pública, cêrca de 17 metros de coluna d'água.

Em um estudo minucioso sôbre condições de suficiência do diâmetro de 3/4 de polegada, para ligações prediais, tendo em vista o fornecimento da vazão de 15 galões por minuto (0,95 litro por segundo), Arnold (58, p.747) chegou às perdas de carga discriminadas no Quadro IV-2, as quais se referem a uma ligação em prédio residencial, considerada como típica da cidade de Filadelfia, com materiais novos e bem instalados. Não inclui válvula de flutuador, porque a distribuição se faz sem regularização predial.

Quadro IV-2

<u>material</u>	<u>Perda de carga(m d'água)</u>
1 Ferrule, 3/4" .....	1,4
1 Registro de passeio, 3/4" .....	1,4
18 m Tubos de cobre, 3/4", tipo K	16,9
1 Registro de globo, 3/4" .....	2,8
1 Hidrômetro, 5/8" .....	<u>4,2</u>
Soma	26,7

2.1.3- Suponhamos que todos os reservatórios prediais tenham capacidade, digamos, igual ao consumo médio diário no prédio, de modo que estejam em condições volumétricas de compensar a variação máxima horária e as variações casuais. E imaginemos que, no período horário de máximo consumo, êsses volumês de compensação sejam efetivamente utilizados, por êste motivo fazendo a lâmina d'água dos reservatórios cair ao seu nível mínimo e, assim, fazendo tôdas as válvulas de flutuador se abrirem completamente.

Sob tal hipótese, partindo das fórmulas (III.7) e (III.62), chegaremos à seguinte expressão para cálculo das vazões de distribuição:

$$Q = k_1 \cdot Q_A \quad (IV.1)$$

Esta fórmula nos conduzirá a valores relativamente baixos para as vazões de dimensionamento da rêde, dessa sorte propiciando canalizações de menor custo, o que decorrerá do fato de estarmos tirando partido da mencionada função regularizadora dos reservatórios. Para tanto, ao longo da rêde, no decurso do dia de maior consumo, deverá pressupor uma uniforme vazão de alimentação dos reservatórios. Ou melhor, deverá pressupor que esta vazão de alimentação seja proporcional ao número de habitantes em cada prédio, permitindo calcular as vazões de distribuição através de um coeficiente de distribuição em marcha constante, se constante fôr a distribuição populacional.

A solução do problema hidráulico, demarcado pela pressuposição acima, implicará no diimensionamento da rêde distribuidora de forma a assegurar que, na alimentação de todos os reservatórios, vigore a mesma carga hidráulica disponível. Tendo-se admitido, como é razoável, equivalência das perdas de carga nas ligações prediais. Portanto, se os prédios forem praticamente homogêneos, a condição hidráulica de projeto da rêde se realizará, a partir da extremidade distribuidora de montante (reserva tório público), com a adoção de perdas de car-

ga unitárias iguais às declividades das ruas respectivas. Isto é, da forma a se estabelecerem linhas piezométricas dinâmicas guardando paralelismo com as ruas correspondentes, a uma altura constante destas. Resultará, como critério apropriado para traçado da rêde, o lançamento das tubulações tronco ao longo das linhas de espigão, ficando a rêde configurada como se fôra um sistema de irrigação por condutos livres, todos os condutos tendo a mesma espessura de lâmina d'água. Verificaremos, pois, tratar-se de condição hidráulica baseada em especificação sôbre a pressão dinâmica de distribuição, a ser atendida mediante sujeição da declividade da linha piezométrica dinâmica; a velocidade de escoamento sendo uma decorrência.

2.1.4- Consideremos, agora, que outro tenha sido o critério adotado no dimensionamento da rêde. Imaginemos que se tenha seguido uma regra de escolha de diâmetro arbitrada pela injunção de que a área de cada secção de canalização seja aproximadamente proporcional ao número de habitantes abastecidos através da mesma (\*).

---

(\*) Se o coeficiente de distribuição de água em marcha fôr constante, de modo a tornar a vazão de distribuição proporcional à população abastecida, esta exigência equivalerá à especificação de uma velocidade de escoamento praticamente constante.

Suponhamos que prevalecesse, nesta rede, o estado de funcionamento descrito anteriormente, com as válvulas de flutuador completamente abertas em todos os reservatórios, por estarem êstes atuando, uniformemente, como compensadores das flutuações horárias e casuais. Sob tal hipótese, calcular as vazões de distribuição seria extremamente difícil. Pois, depararíamos com uma situação que seria como que um dos clássicos problemas dos três reservatórios (60) levado às suas últimas consequências: teríamos um ou mais reservatórios alimentadores (reservatórios públicos) descarregando, livremente, em centenas ou milhares de reservatórios localizados em cotas diferentes entre si. Não obstante, devido à regra seguida na escolha dos diâmetros, desde já poderemos antecipar que, em igualdade de população e distância, áreas situadas em cotas topográficas mais baixas demandariam vazões de distribuição sensivelmente maiores que áreas situadas em cotas superiores. Haveria, então, uma diferenciação nos coeficientes de distribuição em marcha.

A questão hidráulica, dessa forma delineada, nos leva a certas ponderações, sintetizadas abaixo, em face de casos que possam ser encontrados, casos êsses obviamente dependen-



tes dos valores particulares em jôgo; especialmente, dependentes de contingências topográficas, fatores de utilização da água e fator de proporcionalidade para escolha dos diâmetros.

a) Reservatórios de prédios situados em áreas baixas, comumente não poderão exercer qualquer ação regularizadora sôbre as variações horárias. Porque estarão sempre cheios ou quase cheios.

b) Esses mesmos reservatórios proporcionarão uma regularização sômente parcial das variações casuais do consumo. A magnitude dessa regularização dependerá de uma série de fatores, onde se distinguem: a área da superfície livre do líquido armazenado; o curso de abertura da válvula de flutuador (dependente do comprimento da haste do flutuador) em correspondência à depressão de nível no reservatório; e a carga hidráulica disponível para alimentação do reservatório. Para visualizarmos essa conjuntura, consideremos um prédio de 5 habitantes, com  $k_1 = k_2 = 1,50$  e  $v = \frac{200}{86\ 400}$  l/hab.s. A vazão média de alimentação do reservatório, no dia e hora de máximo consumo, será:

$$M_Q = 1,50 \cdot 1,50 \cdot \frac{200}{86\ 400} \cdot 5 = 0,026 \text{ l/s}$$

Suponhamos que, estando o reservatório cheio, uma torneira seja posta a funcionar, demandando 0,30 litro por segundo. O nível do reservatório começará a descer, e o prosseguirá enquanto a válvula de flutuador, parcialmente aberta, não fornecer uma vazão igual à da torneira. A rede pública será, conseqüentemente, instada a fornecer uma vazão crescente, tendente a igualar o valor 0,30 litro/segundo, ou seja, um valor mais de dez vezes superior à média supra citada. Para um dado volume de água a ser usado na operação da torneira, essa igualação se efetuará tanto mais rapidamente quanto menor fôr a área da superfície livre do líquido no reservatório e maiores forem o curso de abertura da válvula de flutuador e a carga hidráulica disponível para alimentação do reservatório. E, conforme os valores em jogo, a igualdade poderá não ser atingida. Neste caso, o reservatório terá conseguido uma atenuação no valor da vazão exigida da rede. Esta hipótese seria particularmente provável, se nos referíssemos à operação isolada de uma bacia sanitária com válvula de descarga. Em contraposição, poderíamos conceber situações mais desfavoráveis, em que, uma segunda peça de utilização entraria em funcionamento antes que a primeira terminasse a sua operação; ou, antes que o

nível, no reservatório, tivesse se recuperado.

c) Demandas substanciais, superiores até mesmo à vazão máxima provável das peças de utilização presentes, poderão ser solicitadas da rede pública, no caso de fornecimento em reservatórios prediais inferiores. Isto porque, as instalações elevatórias poderão ter capacidade para esvaziamento desses reservatórios em prazo relativamente curto, colocando-os em alimentação através de válvula de flutuador totalmente aberta.

d) Uma rede de distribuição, resultante do critério de dimensionamento em consideração, poderá, eventualmente, atingir o fim a que se destina. Mas, forçoso é reconhecer, dificilmente poderemos fazer um prognóstico seguro sobre as suas verdadeiras condições hidráulicas de funcionamento, tendo em vista tirar proveito da presença dos reservatórios prediais. Outrossim, essa insegurança na predição das condições reais de escoamento tornará problemático o seu resguardo contra ocorrências momentâneas de pressões indesejáveis, sobretudo em canalizações abastecedoras de zonas periféricas onde o terreno apresenta conformação topográfica anticlinal.

## 2.2- Alimentação dos reservatórios com limitações específicas.

2.2.1- Em termos ideais, poderemos imaginar a instalação de um aparelho regularizador de vazão, em cada ramal predial. Asseguraremos, à nossa vontade, uma vazão constante, quando a válvula de flutuador estiver completamente aberta, qualquer que seja a carga hidráulica (superior a um mínimo); em especial, qualquer que seja a posição topográfica do reservatório.

a) Poderemos ajustar o aparelho para uma vazão igual à demanda média do prédio no dia de maior consumo. Com este critério, calcularemos as vazões de distribuição por meio da fórmula (IV.1).

b) Poderemos calibrar o aparelho para uma vazão igual à demanda média do prédio na hora de maior consumo do dia de maior consumo. Nesta condição, retornando às fórmulas (III.7) e (III.62), usaremos a seguinte expressão para cálculo das vazões de distribuição:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A$$

Dêste modo, as vazões de distribuição serão mais altas que no caso anterior. Mas, destinando-se somente às variações casuais, os volumes de compensação serão menores, e menos dispendiosos poderão ser os reservatórios prediais.

2.2.2- Conquanto seja assunto que ultrapassa o âmbito da presente monografia, será oportuno deter a nossa atenção, de passagem, sobre certos dispositivos emanados da experiência, do afã que as lides diárias impõem aos que trabalham na prática.

a) A introdução de perdas de carga localizadas na rede, mediante manobras de registros estrategicamente escolhidos, constitui recurso hidráulico compreensível, visando a prevalência de cargas mais uniformes, de modo a se conseguir alimentação mais homogênea dos reservatórios prediais. Tais manobras, entretanto, podem ter efeitos sanitários danosos, porque executadas de forma dificilmente controlável, expondo a rede ao risco de pressões negativas.

b) As chamadas penas d'água, diafrágmata intercalados nos ramais prediais, se bem que descritas entre nós como recurso incipiente para controle do consumo de água, na realidade

podirão constituir um razoável dispositivo prático para consecução de regularização da vazão, prevista no critério de projeto examinado em IV- 2.2.1. Mormente se lhes fôr reconhecida essa finalidade e, assim, se atentar para o seu aperfeiçoamento e para a sua devida especificação.

c) Válvulas de flutuador para reservatórios domiciliários, encontradas no comércio, usualmente têm aberturas diminutas para descarga da água. Tratam-se de orifícios ou bocais com diâmetro de 1/8 a 3/16 de polegada, capazes de oferecer elevada resistência ao escoamento. (Para a vazão de 1,0 litro/segundo, em orifício de 3/16 de polegada, a carga necessária é da ordem de 400 metros de coluna d'água). Como explicação, obtida de práticos: se a abertura fôsse maior, haveria necessidade de bóia mais volumosa, e o obturador da válvula teria de apresentar melhor qualidade em material e acabamento, para efetivamente se conseguir fechamento e vedação sob pressão de montante elevada - fatores negativos para competição comercial baseada somente em preços. As referidas válvulas, ainda que arbitrariamente, contribuem para regularização das condições hidráulicas de distribuição, embora, eventualmente, possam

ser inconvenientes para os prédios situados em partes altas da rêde.

d) Hidrômetros instalados nas partes baixas da rêde, a par de sua valiosa função específica, contribuem positivamente para regularizar as condições hidráulicas da rêde, devido à perda de carga que introduzem na ligação predial. Essa perda de carga varia, aproximadamente, na razão direta do quadrado das vazões (61, p.10), de modo que poderá ser obtida desde que conheçamos o seu valor particular referente a uma dada vazão. Realmente, é conhecido um valor particular, uma vez que, por definição (61, p.5), a vazão característica ou capacidade nominal de um hidrômetro é a vazão horária para a qual a perda de carga é de 10 metros de coluna d'água. Assim, hidrômetros de 3 metros cúbicos de capacidade nominal acarretam uma perda de carga de 10 m d'água, quando por êles circula uma vazão de 3 metros cúbicos por hora, ou seja, 0,83 litro por segundo. Para uma vazão de 1,0 litro/segundo, resultarão 14,4 m d'água; e, para 0,50 litro/segundo, serão 3 m d'água. Isto, quanto ao aparelho em si, em boas condições de funcionamento. Há que considerar, ademais, as peças pertinentes à sua instalação. Neste particular, e para o objetivo em foco, a

eficiência poderá ser melhorada (embora seja aconselhável outra solução, menos dispendiosa) mediante a congérie de peças assim descrita por Assis (62,p.13): "Regulamentos de Serviços de Águas, de várias cidades de São Paulo, costumam exigir que a instalação de hidrômetros seja, obrigatòriamente, feita em "cavaletes", discriminando as seguintes peças, utilizadas nesse tipo de ligação: 1 luva + 1 arruela + 1 luva + 1 arruela + 1 pedaço de cano com 1,50 m + 1 cotovelo + 1 pedaço de cano com 0,50 m + 1 luva + 1 curva de 90º + 1 luva + 1 arruela + 1 pedaço de cano com cêrca de 0,15 m + 1 registro de asa + 1 niple + 1 cotovelo + 1 pedaço de cano com 0,50 m + 1 cotovelo".



V- CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM  
REGIME DE FORNECIMENTO MISTO

1- Conceituação do problema.

Neste caso, a vazão ordinariamente exigida da rede, em um instante qualquer, é constituída pelas parcelas seguintes:

a) soma das vazões das peças de utilização que estejam em operação no momento considerado, peças essas alimentadas diretamente pela rede pública;

b) soma das vazões de alimentação dos reservatórios prediais que, nesse instante, não estejam cheios;

c) soma das demandas instantâneas decorrentes de vazamentos causadores de perdas nas canalizações públicas, nas ligações prediais e nas instalações prediais diretamente alimentadas pela rede pública.

Extraordinariamente, acrescentam-se as demandas requeridas por hidrantes, demandas essas a serem computadas separadamente.

## 2- Hipóteses de cálculo

2.1- Admitamos, à luz de conclusões evidenciadas no capítulo anterior, que tôdas as canalizações alimentadoras de reservatórios prediais sejam condicionadas, pelo menos, por dispositivo capaz de nos assegurar um prefixado limite máximo para a vazão de alimentação, no período crítico de funcionamento da rêde. Entenderemos, êste período crítico, como o intervalo de tempo, dentro da hora de máximo consumo, em que as demais solicitações ordinárias à rêde atinjam, globalmente, o seu valor máximo provável.

2.2- Consideremos, ainda, mais, que, no mencionado período crítico, sejam independentes entre si os acontecimentos individualizados: pelo funcionamento das peças de utilização ligadas diretamente à rêde; pela alimentação dos reservatórios prediais; e pelos vazamentos nas canalizações públicas, nas ligações prediais e nas instalações prediais diretamente alimentadas pela rêde pública.

### 3- Expressão das vazões de distribuição

Partindo das fórmulas (III.1) e III.56), chegaremos à seguinte expressão generalizada:

$$Q = m.q + F + E \quad (V.1)$$

onde Q é a vazão de distribuição a ser adotada para a secção em consideração; m.q é a vazão máxima provável atribuível às peças de utilização alimentadas diretamente pela rêde, à jusante da secção em consideração; F é a vazão máxima preconcebida para suprimento dos reservatórios prediais situados à jusante, no período crítico; e E é a vazão devida às perdas, também à jusante da secção em exame, nas canalizações públicas, nas ligações prediais e nas peças abastecidas diretamente pela rêde pública.

### 4- Determinação das vazões de distribuição.

4.1- Em conformidade com a independência entre

as parcelas figurantes no segundo membro da equação (V.1), obteremos as vazões de distribuição considerando a rêde em causa como resultante da sobreposição de três rêdes fictícias, analisadas a seguir.

#### 4.2- Rêde com demandas contínuas, abastecedora de perdas.

Determinaremos, nesta rêde, a parcela  $E$  a ser aplicada na fórmula (V.1).

Poderemos usar uma expressão formalmente idêntica à equação (III.61). No caso, porém, o parâmetro  $E_0$  representará a fração da vazão média anual consumida pelas perdas, exclusiva a parte imputável às peças de utilização alimentadas pelos reservatórios prediais. Isto porque esta parte será debitada no valor de  $F$ .

#### 4.3- Rêde com demandas contínuas, abastecedora de reservatórios.

4.3.1- Nesta rêde, calcularemos a parcela  $F$ , relativa à fórmula (V.1).

4.3.2- Adotaremos, como condição mais desfavorável de cálculo, que F seja dada pela somatória das vazões de alimentação de todos os reservatórios abastecidos pela secção em consideração, estando essas vazões em seus máximos respectivos, previstos para o período crítico de funcionamento da rêde.

4.3.3- De um modo geral, antevemos, como especificação conveniente para a vazão máxima de alimentação de cada reservatório, no aludido período crítico, a vazão média para o prédio respectivo, relativa ao dia de maior consumo. Eventualmente, a vazão média da hora de maior consumo do dia de maior consumo poderá se revelar mais adequada a certos casos.

4.3.4- Prevêmos, por outro lado, que o condicionamento da referida vazão máxima, em geral, se fará através de um diafragma, com abertura somente calibrável por ocasião de aferições. Com êste dispositivo, a vazão máxima especificada será ajustada para a situação desta forma caracterizada:

- a) válvula de flutuador completamente aberta;

- b) r $\hat{e}$ de com press $\tilde{a}$ o din $\hat{a}$ mica m $\hat{a}$ xima, pe-  
lo fato das outras solicita $\tilde{c}$ oes esta-  
rem em seu m $\hat{a}$ ximo valor global, igual  
a  $m.q + E$ , conforme a express $\tilde{a}$ o(V.1).

Nestas condi $\tilde{c}$ oes, n $\hat{a}$ o deveremos perder de vista que o limite m $\hat{a}$ ximo, ajustado para a vaz $\tilde{a}$ o de alimenta $\tilde{c}$ ao dos reservat $\tilde{o}$ rios no pe-  
r $\hat{i}$ odo cr $\hat{i}$ tico de funcionamento da r $\hat{e}$ de, na ver-  
dade ser $\hat{a}$  o valor m $\hat{a}$ ximo das vaz $\tilde{a}$ oes com que  
aquela alimenta $\tilde{c}$ ao se efetuar $\hat{a}$ , para v $\hat{a}$ lvula de  
flutuador completamente aberta. Ser $\hat{a}$  um fato  
 $\hat{o}$ bvio, pois, para qualquer instante, afora o  
per $\hat{i}$ odo cr $\hat{i}$ tico, entendemos que as demais de-  
mandas ser $\hat{a}$ o inferiores a  $m.q + E$ ; logo, dando  
margem a maiores cargas hidr $\hat{a}$ ulicas dispon $\hat{i}$ -  
veis. Para os nossos prop $\hat{o}$ sitos, n $\hat{a}$ o h $\hat{a}$  inte-  
r $\hat{e}$ sse pr $\hat{a}$ tico em se desvendarem essas cargas  
maiores e as conseq $\tilde{u}$ entes vaz $\tilde{a}$ oes de alimenta-  
 $\tilde{c}$ ao maiores, uma vez que a situa $\tilde{c}$ ao mais desfa-  
vor $\hat{a}$ vel na r $\hat{e}$ de e, assim, as vaz $\tilde{a}$ oes de distri-  
bui $\tilde{c}$ ao, ser $\hat{a}$ o presididas pelas condi $\tilde{c}$ oes vigen-  
tes no per $\hat{i}$ odo cr $\hat{i}$ tico definido.

4.3.5- O valor de  $F$   $\acute{e}$  peculiar a cada sistema, assumindo import $\hat{a}$ ncia bastante diver-  
sificada, conforme as caracter $\hat{i}$ sticas da comu-

nidade a ser abastecida e o critério de projeto adotado.

a) Para uma secção genérica da rêde, poderemos escrever:

$$F = k_F \cdot F_0 \cdot Q_A = k_F \cdot F_0 \cdot v \cdot H \quad (V.2)$$

onde o coeficiente  $F_0$  representa a fração da vazão média anual fornecida mediante regularização; de modo que  $F_0 \cdot Q_A$  exprime a vazão média anual destinada à alimentação de reservatórios prediais;  $k_F$  é o coeficiente de variação para o período crítico, dependente do critério de projeto, isto é, da limitação imposta à vazão de alimentação dos reservatórios.

b) No caso mais usual, dentro da idéia de prevenção aos reservatórios domiciliários,  $F$  se referirá ao suprimento de grandes consumidores, localizados em pontos isolados, geralmente representados por indústrias, edifícios públicos ou comerciais e prédios de apartamentos. A estimativa de seu valor resultará de investigações em cada caso, onde, preferivelmente, se incluirão inquéritos diretos junto aos consumidores pertinentes a essa categoria.

Evidentemente, esse seu valor, bem como o de  $F_0$ , variará, ao longo da rede, de secção para secção.

c) Em muitos casos, porém, os citados consumidores não oferecerão uma individualização significativa, e ocorrerão de modo praticamente homogêneo, ao longo da rede. São exemplos, bairros da Capital ou cidades do interior, essencialmente residenciais, onde os consumos localizados abrangem atividades públicas, comerciais e industriais de pequeno porte, representadas por pequenos hotéis, pensões, padarias, tinturarias, escolas, cinemas e outros. Nestas circunstâncias, será possível admitir-se  $F_0$  como um coeficiente constante ao longo da rede, a ser estimado mediante investigações diretas ou por meio de comparação com casos semelhantes.

A um procedimento análogo poderemos também recorrer, em se tratando de regime de fornecimento com regularização para certos pontos de consumo de cada prédio e sem regularização para os pontos de consumo restantes.



4.4- Rêde com demandas causadas sòmente por peças de utilização em regime intermitente.

4.4.1- A parcela  $m,q$ , da fórmula (V.1), determinaremos nesta rêde, onde ficticiamente, imaginamos a existência de apenas as peças de utilização abastecidas diretamente pela rêde pública.

4.4.2- Como já vimos, a determinação de  $m,q$ , dentro da aproximação à distribuição de Poisson, estará na dependência do conhecimento da vazão média,  $M_{Q_x}$ , a ser demandada pelas peças na hora de maior consumo do dia de maior consumo.

4.4.3- Um primeiro processo, para a solução do problema, será o de efetuarmos uma análise específica sôbre os consumidores abrangidos por esta rêde. Através de amostragem direta ou por analogia com consumidores semelhantes, estimaremos os particulares valores de  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$  pertinentes, especificamente, à população abastecida sem regularização de vazão. Obtidos êsses parâmetros, reverteremos a análise da rêde fictícia em consideração, aos procedimentos já examinados no Capítulo III. Em

particular, obteremos os valores (H,m.q), mediante as curvas descritas em III-9 e III-10 , por aplicação dos consequentes fatôres de equivalência.

4.4.4- Poderemos, também, chegar a uma solução para o problema, recorrendo às expressões gerais apresentadas em III-11.4.3-b.

Em acôrdo com V-4.3.5, poderemos escrever, nas fórmulas (III.65) e (III.66):

$$G_o = E_o + k_f \cdot F_o \quad (V.3)$$

expressão que nos conduzirá a uma estimativa de  $M_{Qx}$  e do correspondente fator de equivalência entre habitantes, uma vez conhecidos os valores de  $k_1$ ,  $k_2$  e  $v$  da rêde original, bem como os valores das perdas e das vazões limites de alimentação dos reservatórios prediais. Tratar-se-á, no que se refere à parcela debitada aos reservatórios, de uma solução aproximada a favor da segurança, uma vez que, consoante o esclarecido em V-4.3.4, a vazão média de alimentação dos reservatórios, na hora de maior consumo do dia de maior consumo, provavelmente se rá maior que  $k_f \cdot F_o \cdot Q_A$ .

Neste particular, será conveniente termos presente o efeito a ser esperado do fornecimento mediante regularização, quanto à atenuação no valor das vazões de distribuição, para o que julgamos oportuna uma observação remissiva a III-11.4.4.

#### 4.5- Curvas (H,Q) e (R,Q).

4.5.1- Em um sistema de coordenadas (H, Q) ou (R,Q), traçaremos as curvas relativas, respectivamente, às três rêdes fictícias que viemos de examinar. Obteremos a curva final, representativa das vazões de distribuição na rêde original, por soma de ordenadas.

4.5.2- Dadas as características usualmente previsíveis para o valor de F, mencionadas em V-4.3.5-b, limitado alcance prático poderemos esperar de aplicações numéricas, ilustrativas de situações particulares. Não obstante, achamos vantajoso referirmo-nos aos quatro casos apresentados em III-11.5. Naqueles casos, poderemos substituir E por G e, assim,  $E_0$  por  $G_0$ , entendendo G como vazão média oriunda, conjuntamente, das perdas e dos fornecimentos

com regularização, fornecimentos estes dispostos homogêneamente ao longo da rede. Teremos, assim, nos quadros III-13 e III-14 e na Fig. III-5, quatro exemplos numéricos para a rede que acabamos de estudar.

\*

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1- Siqueira, A.: Engenharia Sanitária. 2ª ed. Porto Alegre, Ed. Globo, 1 959. Vol. I.
- 2- Estado de São Paulo. Secretaria da Saúde Pública e da Assistência Social: Lei Nº 1 561-A. São Paulo, Imprensa Oficial do Estado, 1 952.
- 3- The Institution of Water Engineers: Manual of British Water Supply Practice. Cambridge, W. Heffer & Sons, 1 950. (Nota: Há 2ª Ed., de 1 954, absol. esgotada - no dizer dos editores; uma 3ª Ed. es tá em prepar:).
- 4- Taylor, D.R.: Design of Main Extensions of Small Size. Water & Sewage Works, Chicago, Jun. 15, 1 956. Reference and Data Number.
- 5- Garcia, M.R.: Estudo sobre Dotaciones de Agua Potable. Anais do IV Congr. Interam. Eng. San., São Paulo, AIDIS, 1 954.
- 6- Association Internationale des Distributions d'Eau: Calcul des Réseaux Maillés. 2º Congrès, Question 9, Rapport Général, Paris, 1 952.
- 7- Anderson, G.W.: Pressupostos Básicos de Saúde Pública. Conferência proferida, em 2 de Jun. de 1 948, na Fac. Higiene Saúde Púb. Univ. São Paulo. Notas mimeografadas.

- 8- Sene, O.P.: Saneamento Geral. Curso Normal de Higiene e Saúde Pública para Engenheiros, Fac. Hig. Saúde Púb. Univ. São Paulo. Notas de Aula (não public.), 1 949.
- 9- Hanson, R. and Hudson Jr., H.E.: Trends in Residential Water Use. Jour. AWWA, 48: 1 347, Nov. 1 956.
- 10- Henderson, A.D.: The Lawn Sprinkling Load -Long Island, N.Y., and Levittown, Pa. Jour. AWWA, New York, 48: 361, Apr. 1 956.
- 11- Hatcher, M.P.: The Lawn Sprinkling Load -Kansas City, Mo. Jour. AWWA, New York, 48: 373, Apr. 1 956.
- 12- Hatcher, M.P.: High Demand Restriction at Kansas, Mo. Jour. AWWA, New York, 49: 705, Jun. 1 957.
- 13- Tanghe, E.F.: The Lawn Sprinkling Load -Milwaukee, Wis. Jour. AWWA, New York, 48: 376, Apr. 1 956.
- 14- AWWA, Committee Report: Charges for Residential Air Conditioning. Jour. AWWA, New York, 47: 1 088, Nov. 1 955.
- 15- Berry, T.V.: Distribution to Suburban Vancouver Areas. Jour. AWWA, New York, 48: 179, Feb. 1 956.
- 16- Stockwell, H.P.: Water Supply for Suburban Ottawa. Jour. AWWA, New York, 48: 193, Feb. 1 956.
- 17- AWWA, Committee Report: Trends in Air-Conditioning Use and Regulation. Jour. AWWA, New York, 50: 75, Jan. 1 958.

- 18- Brasil. Gabinete Civil da Presidência da República: Financiamento de Serviços Municipais de Abastecimento de Água - Relatório da Comissão Incumbida de Elaborar o Plano do Governo Federal. Rio de Janeiro, Departamento de Imprensa Nacional, 1 953.
- 19- Tameirão, H.P.: Inquérito sobre o Saneamento das Cidades do Estado de São Paulo - Águas e Esgotos. Arq. Fac. Hig.Saúde Púb. Univ. São Paulo, 18: 121, Jun.1 953.
- 20- Estado de São Paulo. Secretaria da Viação e Obras Públicas. D.A.E. - C.P.G.A.: Relatório Final dos Estudos Realizados para o Abastecimento da Área Metropolitana de São Paulo. Rev. do Depart. de Águas e Esgotos, São Paulo, 19: 19, Dez.1 958.
- 21- I.B.G.E.- Conselho Nacional de Estatística: Censo Demográfico (1º de Julho de 1 950). Estados Unidos do Brasil. Seleção dos Principais Dados. Rio de Janeiro, I.B.G. E., 1 953.
- 22- Blake, N.M.: Water for Cities. Syracuse, N.Y., Syracuse University Press, 1 956.
- 23- Nichols, R.F., Bagley, W. e Beard, C.A.: Os Estados Unidos de Ontem e de Hoje. Trad. de Carlos Lacerda e F. Tude de Sousa. São Paulo, Comp. Editôra Nacional, 1 944.
- 24- Moog, V.: Bandeirantes e Pioneiros. 2ª Ed. Porto Alegre, Ed. Globo, 1 955.
- 25- Braun, P.J.: Fire Insurance Rating. Jour. AWWA, New York, 46: 822, Aug. 1 954.

- 26- National Fire Protection Association:  
NFPA - Handbook of Fire Protection. 11ª  
Ed. Boston, N.F.P.A., 1 954.
- 27- Braidech, M.M.: Controlling Industrial  
Fire Hazards. Jour. AWWA, New York, 40:  
927, Sept. 1 948.
- 28- Bruno, E.S.: História e Tradições da  
Cidade de São Paulo. Rio de Janeiro,  
Liv. José Olympio Ed., 1 954.
- 29- I.B.G.E. - Conselho Nacional de Estatísti  
ca: Anuário Estatístico do Brasil-1 959.  
Rio de Janeiro, I.B.G.E., 1 959.
- 30- Estado de São Paulo. Departamento de Esta-  
tística do Estado: Anuário - 1 958.  
São Paulo, Serviço Gráfico do D.E.E. ,  
1 960.
- 31- Instituto de Resseguros do Brasil: Tari  
fa de Seguro - Incêndio do Brasil, Pu-  
blicação nº 49 - I.R.B., 4ª Ed., Rio de  
Janeiro, 1 960.
- 32- Bertoche Filho, A., Artanonde, J.B.M. e  
Piazza, F.N.: A Proteção Contra Incên-  
dio no Planejamento das Construções. Rio  
de Janeiro, Ajax Corretores de Seguros  
S.A. - Depart. de Engenharia de Preven-  
ção, 1 957.
- 33- Associação Brasileira de Normas Técnicas:  
Normas Brasileiras. Rio de Janeiro,  
A.B.N.T., 1 953.



- 34- Associação Brasileira de Normas Técnicas:  
Instalações Prediais de Água Fria, P-NB-  
-92. Bol. A.B.N.T., Rio de Janeiro,  
43, Mar./Abr., 1 959.
- 35- Estado de São Paulo. Secretaria da Viação  
e Obras Públicas: Decr. 35 332 de 11 de  
Agosto de 1 959 - Aprova Regulamento pa  
ra Execução das Instalações Prediais de  
Águas e Esgotos Sanitários, na Capital.  
Rev. do Depart. de Águas e Esgotos,  
São Paulo, 20: 69, Out. 1 959.
- 36- Gevaudan, P. et Gay, R.: Enquête sur un  
Moyen Archaïque de Distribution d'Eau  
de Consommation. Revue d'Hygiène et  
de Médecine Sociale, Paris, 5: 190, Mars  
- Avril 1 957.
- 37- Gallizio, A.: Impianti Sanitari. 2ª Ed.  
Milano, Ed. Ulrico Hoepli, 1 949.
- 38- Mistrangelo, C.: Provvista e Distribuzio  
ne di Acqua Potabile. 4ª Ed. Milano,  
Ed. Ulrico Hoepli, 1 945.
- 39- Escritt, L.B.: Building Sanitation. Lon  
don, Macdonald & Evans, 1 953.
- 40- Fry, T.C.: Probability and its Engineering  
Uses. New York. D. van Nostrand Co.,  
1 928.
- 41- Hald, A.: Statistical Theory with Engi  
neering Applications. New York, John  
Wiley & Sons, 1 952.
- 42- Yule, G.U. and Kendall, M.G.: An Intro  
duction to the Theory of Statistics.  
14ª Ed., London, Charles Griffin & Co.,  
1 958.

- 43- Arkin, H. and Colton, R.R.: An Outline of Statistical Methods. 4<sup>th</sup> Ed., New York, Barnes & Nobles, 1950.
- 44- Hoel, P.G.: Introduction to Mathematical Statistics. New York, John Wiley & Sons, 1947.
- 45- Hunter, R.B.: Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems. U.S. Department of Commerce. National Bureau of Standards. Report BMS65, Washington, D.C., 1940.
- 46- National Bureau of Standards: Plumbing Manual. U.S. Department of Commerce. National Bureau of Standards. Report BMS 66. Washington, D.C., 1940.
- 47- Bolant, R.: Recherche des Débits Admissibles dans les Canalizations par le Calcul des Probabilités. La Houille Blanche, Paris, Mai-Jun. 1949.
- 48- Carvalho, P. E. e Leser, W.P.: Metodologia Estatística. São Paulo, Departamento de Cultura, 1938. 2<sup>o</sup> Vol.
- 49- Manas, V.T.: National Plumbing Code Handbook. New York, McGraw-Hill Book Co., 1957.
- 50- Matson, T.M., Smith, W.S. and Hurd, F. W.: Traffic Engineering. New York, McGraw-Hill Book Co., 1955.
- 51- Molina, E.C.: Poisson's Exponential Binomial Limit. New York, D. van Nostrand Co., 1942.

- 52- National Bureau of Standards: Tables of the Binomial Probability Distribution. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1 949.
- 53- Romig, H.G.: 50-100 Binomial Tables. New York, John Wiley & Sons, 1 953.
- 54- Flores, J.O.M.: Hidráulica (Abastecimento de Água). Rio de Janeiro, Escola Nacional de Engenharia, 1 953. Notas de Aulas, Publicação Organizada por Kaufman e Griner.
- 55- American Water Works Association: Tentative Standard Specifications for Installation of Cast-Iron Water Mains; AWWA C600-49T. New York, American Water Works Association, 1 954.
- 56- Queneau, R.B. e Benevelli, L.B.: Los Estudios Pitométricos y el Control Técnico de los Sistemas de Abastecimiento de Agua. Ingenieria Sanitaria - Rev.AIDIS, México D.F., 13: 33, Julio 1 959.
- 57- Assis, O.P. e Victorette, B.A.: Serviço de Contrôlê na Medição de Água. Anais do IV Congr. Interam. Eng. San., São Paulo, AIDIS, 1 954.
- 58- Arnold, G.E.: Friction Losses in Service Lines and Fittings. Jour. AWWA, New York, 48: 744, Jun. 1 956.
- 59- Crane: Catalog nº 49. Chicago, Crane Co., 1 949.
- 60- Garcez, L.N.: Curso de Hidráulica. São Paulo, Escola Politécnica da Univ. de São Paulo, 1 946.

- 61- Assis, O.P.: Escolha e Instalação de Hidrômetros. Publicações S.A.T.H. - Serviço de Assistência Técnica a Hidrômetros, São Paulo, 06-3, Dez., 1 945.
- 62- Assis, O.P.: Supressão do Racionamento de Água em São João da Boa Vista. Publicações S.A.T.H. - Serviço de Assistência Técnica a Hidrômetros, São Paulo, 06-5, Março, 1 950.

\*

SÍMBOLOS USADOS

(em nossa formulação)

- a - valor de  $M_x$ , na tabela de Molina, para um dado m.
- b - fração de  $M_{Q_x}$ , atribuível a tipo II.
- c - desvio de m, a partir de  $M_x$ , na curva normal.
- $C_x^n$  - combinação de n, x a x.
- $d_i$  - diâmetro dos ramais prediais, no trecho i.
- $D_i$  - diâmetro da rêde, no trecho i.
- E - vazão na secção genérica, causada pelas perdas à jusante.
- $E_P$ ,  $E_R$  e  $E_S$  - parcelas de E, pertinentes à rêde públ., ramais prediais e instal.pred., respect.
- $E_{OP}$ ,  $E_{OR}$  e  $E_{OS}$  - perdas específicas, relativas à  $E_P$ ,  $E_R$  e  $E_S$ , respect.
- $E_O$  - fração da vazão média anual, consumida pelas perdas.
- F - vazão na secção génér., para aliment.dos reserv. à jus., máx. regulada para o período crítico.
- $F_O$  - fração da vazão média anual, fornecida mediante regularização.
- f - fator de equiparação entre peças.

- $F_H$  e  $F_R$  - fator de equivalência entre habitantes e prédios, respect.
- $G$  - vazão na secção genér., média na hora de máx., oriunda de demandas contínuas à jus.
- $G_0$  - fração da vazão média anual, abrangida por  $G$ .
- $h$  - número médio de habitantes por prédio.
- $h'$  - valor de  $h$ , em uma situação diferente.
- $H$  - número de habitantes abastecidos pela secção genér.
- $H'$  - valor de  $H$ , em uma situação diferente.
- $i$  - índice denotando o número de ordem, em grandezas congêneres.
- $j_i$  - número de juntas por unid. de compr., no trecho  $i$ .
- $k_1$  e  $k_2$  - coef. para o dia e hora de máx. consumo, respect.
- $k'_1$  e  $k'_2$  - valores de  $k_1$  e  $k_2$ , em situação diferente.
- $k_3$  - coef. para o intervalo de tempo casual de máx. consumo.
- $k_E$  - coef. para a hora de perdas mínimas.
- $k_F$  - coef. de  $F$ , para o período crítico.
- $l_i$  - extensão de ramal predial, por prédio, no trecho  $i$ .
- $L_i$  - extensão de rêde, no trecho  $i$ .

- $m$  - número máx. provável de peças em uso simultâneo, dentre  $n$ .
- $m'$  - qualquer par. de valores ( $m_I, m_{II}$ ), satisfazendo a condição de máxima probabil. de uso simultâneo.
- $M_x$  - média verdadeira de  $x$ .
- $M_{Q_x}$  - média verdadeira de  $Q_x$
- $M_Q$  - média verdadeira da vazão na secção génér., na hora de máx., em rêde contendo demandas contínuas.
- $M_{x_1}, M_{x_2}, \dots, M_{x_i}$  - médias verdadeiras de  $x_1, x_2, \dots, x_i$ , respect.
- $M_{x_{1_1}}, M_{x_{1_2}}, \dots, M_{x_{1_i}}$  - médias verdad. de  $x_{1_1}, x_{1_2}, \dots, x_{1_i}$ , respect.
- $n$  - número de peças suscetíveis de uso, à jus. da secção génér.
- $n_0$  - valor de  $n$  suficientemente grande.
- $n_1, n_2, \dots, n_i$  - valores parciais de  $n$ , relativos a peças de mesmo tipo e com categoria de ordem 1, 2 ...  $i$ , respect.
- $n_{1_1}, n_{1_2}, \dots, n_{1_i}$  - valores parciais de  $n_{1_1}$ , relativos a peças com categoria de ordem 1, 2, ...  $i$ , respect.
- $n'$  - número de peças equiparável a  $n$ .
- $N$  - número médio de peças, por prédio.
- $N_i$  - valor de  $N$  relativo ao trecho  $i$ .

- $p$  - probabilidade de uma peça se encontrar em operação, num instante casual.
- $p_1, p_2, \dots, p_i$  - valores de  $p$  relativos às peças com categoria de ordem 1, 2, ...  $i$ , respect.
- $p_{I_1}, p_{I_2}, \dots, p_{I_i}$  - valores de  $p$  relativos às peças de tipo I, com categoria de ordem 1, 2, ...  $i$ , respect.
- $p_0$  - média de  $p_1, p_2, \dots, p_i$
- $p_{I_0}$  - média de  $p_{I_1}, p_{I_2}, \dots, p_{I_i}$
- $p'$  - valor de  $p$ , em uma situação diferente.
- $p_x^n$  - probabilidade de  $x$  sucessos, em  $n$  eventos.
- $P_i$  - pressão interna efetiva, no trecho  $i$ , na hora de máximo consumo.
- $q$  - vazão de operação de uma peça de utilização.
- $Q$  - vazão de distribuição, relativa à secção genérica.
- $Q_A$  - vazão média anual, relativa à secção genérica.
- $Q_x$  - vazão na secção genér., causada por  $x$  peças em uso simultâneo.
- $\bar{Q}_x$  - média observada de  $Q_x$
- $Q'$  - vazão na secção genér., causada por  $m'$ .
- $R$  - número de prédios (economias) abastecidos pela secção genér.



- $R_i$  - número de prédios abastecidos no trecho  $i$ .  
 $t$  - duração média de operação de uma peça.  
 $T$  - período médio de operação de uma peça.  
 $v$  - vazão média anual, demandada por habitante.  
 $v'$  - valor de  $v$ , em uma situação diferente.  
 $x$  - número de peças em func. simult., dentre  $n$ , num instante casual.  
 $x_1, x_2, \dots, x_i$  - valores parciais de  $x$ , relativos às peças com categoria de ordem 1, 2, ...  $i$ , respect.  
 $x_{I_1}, x_{I_2}, \dots, x_{I_i}$  - valores parciais de  $x_{I_1}$ , relativos às peças com categ. de ordem 1, 2, ...  $i$ , respect.  
 $\bar{x}$  - média observada de  $x$ .  
 $\sigma_x$  - desvio padrão verdadeiro de  $x$ .  
 $\sigma_{x_1}^2, \sigma_{x_2}^2, \dots, \sigma_{x_i}^2$  - variância de  $x_1, x_2, \dots, x_i$ , respect.  
 $\sigma_{x_{I_1}}^2, \sigma_{x_{I_2}}^2, \dots, \sigma_{x_{I_i}}^2$  - variância de  $x_{I_1}, x_{I_2}, \dots, x_{I_i}$ , respect.  
 $\sigma_p$  - desvio padrão de  $p_1, p_2, \dots, p_i$ , em relação a  $p_0$ .  
 $\sigma_{I_p}$  - desvio padrão de  $p_{I_1}, p_{I_2}, \dots, p_{I_i}$ , em relação a  $p_{I_0}$ .

Observações:

- 1) Os índices I e II denotam peças de tipos I e II, respectivamente.

- 2) Para as unidades de medida, foram usados os símbolos preconizados pela Legislação Metrológica Brasileira.

\*

ÍNDICE AUXILIAR SOBRE O CAPÍTULO III

A) Subdivisões do Capítulo:

Nº	Pág.	Nº	Pág.	Nº	Pág.	Nº	Pág.	Nº	Pág.
1	87	4.3	115	7.2	139	8.4	148	9.8	167
2	91	.4	116	.3	141	.5	148	10.1	175
3.1	92	.5	117	.4	141	.6	151	.2	176
.2	93	5.1	118	.5	143	9.1	155	.3	177
.3	94	.2	119	.6	143	.2	155	11.1	181
.4	95	.3	120	.7	144	.3	156	.2	182
.5	96	.4	123	.8	145	.4	157	.3	182
.6	109	6.1	124	8.1	147	.5	159	.4	188
4.1	113	.2	131	.2	147	.6	161	.5	192
.2	114	7.1	134	.3	148	.7	163		

B) Fórmulas:

Nº	Pág.	Nº	Pág.	Nº	Pág.	Nº	Pág.	Nº	Pág.
1	93	16	119	31	149	46	162	61	189
2	95	17	120	32	150	47	162	62	189
3	95	18	120	33	150	48	162	63	190
4	96	19	122	34	150	49	163	64	190
5	97	20	122	35	156	50	163	65	190
6	98	21	124	36	156	51	163	66	191
7	101	22	128	37	156	52	164	67	191
8	102	23	128	38	157	53	175	68	191
9	103	24	128	39	157	54	176		
10	103	25	128	40	157	55	177		
11	104	26	140	41	158	56	182		
12	107	27	140	42	159	57	183		
13	108	28	142	43	159	58	183		
14	108	29	148	44	160	59	185		
15	118	30	149	45	161	60	186		