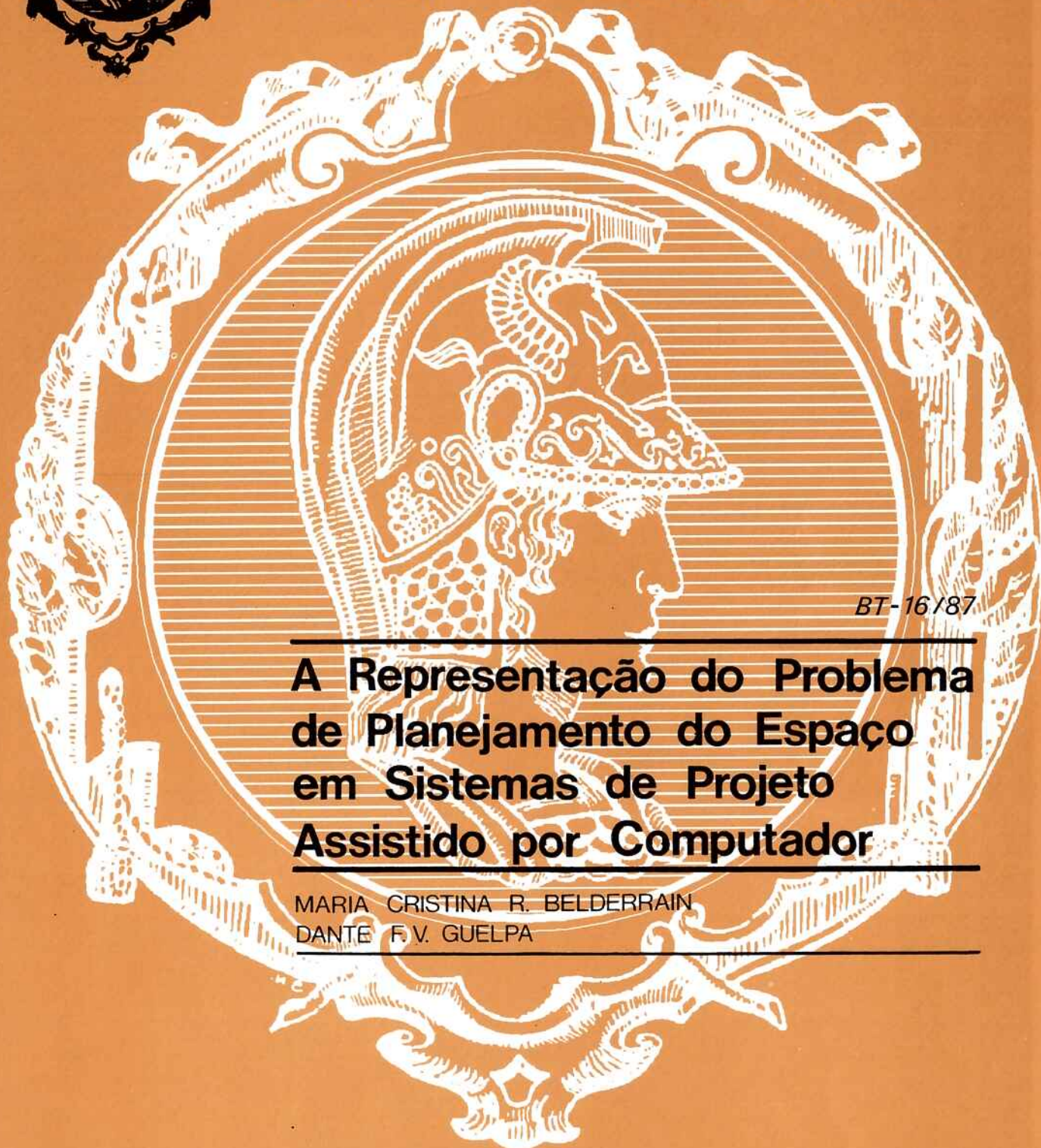




Serviço de Bibliotecas
Biblioteca de Engenharia Civil

BIBLIOTECA
ESCOLA POLITÉCNICA
N. S. P.
DEP. *NCC*

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL



BT-16/87

**A Representação do Problema
de Planejamento do Espaço
em Sistemas de Projeto
Assistido por Computador**

MARIA CRISTINA R. BELDERRAIN
DANTE F.V. GUELPA



Boletim patrocinado pela

COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ

BOLETIM TÉCNICO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EDITOR RESPONSÁVEL

Prof. Norberto B. Lichtenstein

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Fernando H. Sabbatini
Prof.Dr. João da Rocha Lima Jr.
Prof.Dr. Orestes M. Gonçalves
Prof.Dr. Vahan Agopyan
Prof.Dr. Witold Zmitrowicz

O BOLETIM TÉCNICO é uma publicação do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
Cidade Universitária - São Paulo - SP - Brasil
Caixa Postal 61548 - CEP 05508

Telex 011.32237 - Fone: 815.9322 R.234

000787616

PCC

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

Moacyr Eduardo Alves da Graça*

Orestes Marracini Gonçalves*

GRAÇA, M. E. A. & GONÇALVES, O. M. Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria - Determinação das Vazões de Projeto. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987, 17 p. BT - PCC 11/87

Neste trabalho são apresentados os métodos tradicionalmente utilizados para a determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria.

Os métodos aqui desenvolvidos podem ser classificados em:

- . métodos empíricos;
- . métodos probabilísticos.

Apresentamos também uma aplicação numérica dos métodos a uma situação de projeto. Podemos verificar (Gráfico 8) que as vazões de projeto variam significativamente em função do método escolhido.

Instalações Hidráulicas Prediais. Vazões de Projeto. Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria.

GRAÇA, M; E. A. & GONÇALVES, O. M. Building Cold Water Supply Systems - Design Flowrates Determination. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987, 17 p. BT - PCC 11/87

The methods commonly used to determine the design flowrates in building cold water supply systems are presented in this work.

This methods can be classified in:

- . empirical methods;
- . probabilistic methods.

A numerical application of these methods are also presented. We can verify (Figure 8) that the design flowrates depend significantly on the chosen method.

Water Supply Systems. Design Flowrates. Building Cold Water Supply Systems.

* Doutor em Engenharia, Professor do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.



Escola Politécnica - EPBC



31200052913

INDICE

1. Introdução	1
2. Métodos para a determinação das vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria	1
2.1. Métodos Empíricos	2
2.1.1. Método da Raiz Quadrada (Alemão)	2
2.1.2. Método Francês	3
2.1.3. Método Britânico	4
2.1.4. Método da RAE - Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo	4
2.1.5. Método da Raiz Quadrada Modificado	5
2.2. Métodos Probabilísticos	6
2.2.1. Método de Hunter	6
2.2.2. Método de Webster	9
2.2.3. Método de Courtney	10
2.2.4. Método de Konen (Hunter Modificado)	10
2.2.5. Método Sueco	12
2.2.6. Método de Murakawa	12
3. Aplicação Numérica e Comentários Finais	14
4. Referências Bibliográficas	16

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos problemas de engenharia pode ser decomposta em duas linhas principais, a saber:

- . a caracterização das solicitações a que está sujeito um determinado sistema;
- . a caracterização do sistema propriamente dito, seus elementos e componentes, de modo a suportar adequadamente as solicitações que lhe são impostas.

Neste trabalho abordaremos os sistemas prediais de distribuição de água fria, concentrando a atenção nas solicitações a que este sistema se submete, no tocante à aleatoriedade de utilização pelos seus usuários. Um sistema predial de distribuição de água fria é normalmente constituído por um grande número de pontos de utilização, que podem estar ou não em uso, e por uma rede de tubulações que conduzem a água até estes pontos de utilização. Se considerarmos todos os pontos de utilização funcionando simultaneamente, o dimensionamento das tubulações resumir-se-ia à aplicação de Mecânica dos Fluidos, cujos desenvolvimentos teóricos atingiram níveis avançados, em aspectos referentes aos problemas de escoamento em condutos forçados. No entanto, é bastante improvável que todos os pontos de utilização estejam funcionando simultaneamente e a realização de um projeto baseado em tão rara circunstância conduziria a soluções francamente anti-econômicas, pois as instalações estariam, em grande parte do tempo, ociosas.

As estatísticas relativas à utilização da água constituem-se em valiosas fontes de informação para os projetistas de sistemas hidráulicos prediais, no que diz respeito ao dimensionamento de componentes de tais sistemas.

Somente através do conhecimento de parâmetros estatísticos é possível o estabelecimento de técnicas de dimensionamento aderidas à realidade.

Dois problemas apresentam real interesse, segundo Carson:

- . dados relativos ao consumo;
- . dados relativos à demanda.

Evidentemente, ambos estão relacionados.

O conhecimento do comportamento da demanda de água ao longo do tempo interessa ao projetista na medida em que as redes de distribuição devem ser dimensionadas para atenderem, de maneira adequada, às solicitações provenientes da utilização propriamente dita.

O conhecimento do comportamento do consumo de água apresenta interesse para o dimensionamento de reservatórios e sistemas de recalque, e também para o cálculo estimado de custos de energia e de água consumida ao longo de determinados períodos.

Neste trabalho, concentraremos, nossas atenções ao estudo do comportamento da demanda de água visando o dimensionamento das redes de distribuição.

Especificamente, apresentaremos os principais métodos usualmente empregados para a determinação das vazões de projeto para o dimensionamento das instalações prediais de água fria.

2. MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO EM SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA

Procuraremos apresentar abordagens ao problema da determinação das vazões de projeto dos diversos trechos de sistemas prediais de distribuição de água fria.

Em levantamento dos métodos de determinação das vazões de projeto realizado pelo autor (1), em 1978, foi verificada a existência de um número significativo de abordagens diferentes para o problema em tela. Da análise dos métodos levantados destacaram-se dois grupos, segundo a forma de abordagem, a saber:

- . métodos empíricos;
- . métodos probabilísticos.

No primeiro grupo de métodos, de natureza empírica, incluem-se aqueles cuja técnica de determinação das vazões de projeto baseia-se na utilização de tabelas, gráficos

e expressões matemáticas, estabelecidos a partir da experiência e julgamento de seus propositores. Entre eles incluímos os seguintes métodos:

- . Timmis (1922) (2);
- . Dawson e Kalinske (1932) (3);
- . Dawson e Bowman (1933) (4), (5), (6) e (7);
- . Raiz Quadrada - Alemão (1940) (8), (9), (10) e (11);
- . Francês (1942) (12) e (13);
- . Britânico (1946) (14);
- . Fretwell (15);
- . RAE - Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo (16);
- . U.S. Department of Commerce (17);
- . Macintyre (18);
- . Raiz Quadrada Modificado (1978)(19).

No segundo grupo de métodos, de origem probabilística, incluem-se aqueles cuja técnica de determinação das vazões de projeto baseia-se no emprego de tabelas, gráficos e expressões matemáticas estabelecidas a partir de conceitos probabilísticos, utilizando como ferramental básico a função de distribuição de probabilidades Binomial. O primeiro esforço no sentido de se obter um método probabilístico deve-se a Roy B. Hunter, pesquisador do National Bureau of Standards - USA, em 1924. Assim, podemos destacar os seguintes métodos probabilísticos:

- . Hunter (1940) (20);
- . Gallizio (1944) (21);
- . Burberry / Wise (1969) (22), (23) e (24);
- . CP-310 / Howick (15) e (25);
- . Webster (1972) (26);
- . Courtney (27);
- . Konen - Hunter Modificado (1980/1984) (28), (29) e (30);
- . Método Sueco (1980) (35) e (36)
- . Murakawa (1985) (31).

A preocupação com o estabelecimento de uma metodologia para a determinação de vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria tem sido, ao longo dos anos, evidenciada pelo trabalho de diversos pesquisadores. Não há, no entanto, o consenso com relação a uma metodologia geral que possa atender de forma satisfatória às necessidades dos projetistas de instalações hidráulicas prediais.

Com a finalidade de ilustrar a grande variabilidade dos resultados obtidos, com o emprego dos métodos citados, desenvolveremos um exemplo numérico. A insuficiência de dados de campo e/ou a fragilidade dos modelos teóricos dos métodos em questão não possibilitam a escolha de um destes métodos como o mais adequado. Isto se deve ao fato de que os modelos não consideram as especificidades relativas ao tipo de ocupação da edificação, a disponibilidade e as características do equipamento sanitário, as diferenças culturais dos usuários, e as condições climáticas regionais. Em próximo boletim técnico BT-13 do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP apresentaremos um modelo no qual o projetista pode levar em consideração as especificidades daquela instalação. Apresentaremos, a seguir, de forma resumida, os procedimentos utilizados nos métodos mais significativos entre os acima mencionados. Alguns desses métodos foram discutidos em nosso trabalho anterior (1) e outros, mais recentes foram agora incluídos. Pretendemos, com isto, mostrar o desenvolvimento técnico sobre o assunto.

2.1 Métodos Empíricos

Apresentaremos, a seguir, os seguintes métodos empíricos: Método de Raiz Quadrada, Método Francês, Método Britânico, Método da RAE e Método da Raiz Quadrada Modificado. Os demais métodos empíricos estão apresentados em (1), e geralmente correlacionam as vazões máximas possíveis com as vazões de projeto através de coeficientes de simultaneidade.

2.1.1 Método da Raiz Quadrada (Alemão)

Este método apresenta uma expressão matemática para o estabelecimento da vazão de projeto de um trecho do sistema predial de distribuição de água fria, relacionando "pessos" associados a tipos de aparelhos sanitários e o número total de aparelhos de cada tipo, instalado a jusante do trecho. Temos assim:

$$Q_p = q_r (n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n)^{1/2} \dots (1)$$

ou,

$$Q_p = q_r \left(\sum_{i=1}^N n_i P_i \right)^{1/2} \dots (2)$$

sendo:

$$P_1 = \left(\frac{q_1}{q_r} \right)^2 \dots (3)$$

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO
MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

onde:

- Q_p - vazão de projeto do trecho considerado;
- q_r - vazão de referência;
- n_1 - número de aparelhos sanitários do tipo 1, instalados a jusante do trecho considerado;
- P_1 - "peso" atribuído ao aparelho sanitário do tipo 1;
- q_1 - vazão unitária do aparelho sanitário do tipo 1;
- N - número de tipos diferentes de aparelhos sanitários.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT recomenda a utilização deste método em sua norma NBR-5626 - "Instalações Prediais de Água Fria" (9), de 1982. O valor da vazão de referência, q_r , considerado na referida norma é de 0,3 l/s.

Apresentamos na Tabela 1 valores de vazões unitárias e "pesos" atribuídos a diversos tipos de aparelhos sanitários, conforme a NBR-5626.

Aparelho Sanitário	Vazão Unitária l/s (q_1)	"Peso" (P_1)
Bacia sanitária com caixa de descarga;	0,15	0,30
Bacia sanitária com válvula de descarga;	1,90	40,00
Banheira;	0,30	1,00
Bebedouro;	0,05	0,10
Bide;	0,10	0,10
Chuveiro;	0,20	0,50
Lavatório;	0,20	0,50
Mictório de descarga contínua, por metro ou aparelho;	0,075	0,20
Mictório de descarga descontínua;	0,15	0,30
Pia de despejo;	0,30	1,00
Pia de cozinha;	0,25	0,70
Tanque de lavar.	0,30	1,00

Tabela 1 - Vazões e "Pesos" de Aparelhos Sanitários - NBR-5626

2.1.2 Método Francês

Este método apresenta uma expressão matemática relacionando o fator de fluxo simultâneo com o número total de aparelhos sanitários instalados a jusante do trecho considerado. Temos assim:

$$f = \frac{1}{\sqrt{n_t - 1}} \dots \dots \dots (4)$$

para $n_t \geq 2$,

onde:

- f - fator de fluxo simultâneo do trecho considerado
- n_t - número total de aparelhos sanitários instalados a jusante do trecho considerado.

Esta expressão é apresentada na norma AFNOR-NF-P41-101 e é válida para conjuntos de aparelhos sanitários que não contenham válvulas fluxíveis.

Podemos, então, determinar a vazão de projeto do trecho considerado, através da seguinte expressão:

$$Q_p = f Q_{mp} \dots \dots \dots (5)$$

sendo,

$$Q_{mp} = \sum_{i=1}^N n_i q_i \dots \dots \dots (6)$$

onde:

- Q_{mp} - vazão máxima possível no trecho considerado.

No caso em que existam aparelhos sanitários com válvulas fluxíveis a norma francesa recomenda:

- . para 3 aparelhos sanitários instalados, considerar 1 em funcionamento;
- . 4 a 12 aparelhos sanitários sanitários instalados, considerar 2 em funcionamento simultâneo;
- . de 13 a 24 aparelhos sanitários ins

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

talados, considerar 3 em funcionamento simultâneo;

- para mais de 24 aparelhos sanitários instalados, considerar 4 em funcionamento simultâneo.

Este método não permite considerar a diferenciação entre tipos de aparelhos sanitários (exceto válvulas fluxíveis) bem como a caracterização do uso propriamente dito, que são fatores importantes na obtenção das vazões de projeto.

2.1.3 Método Britânico

Este método apresenta duas tabelas para a determinação das vazões de projeto, com as seguintes características:

- a primeira tabela - Tabela 2 - apresenta valores das vazões unitárias para alguns tipos de aparelhos sanitários.

Aparelhos	q _i (l/s)
Banheiro (privado)	0,32
Banheiro (público)	0,50
Pia	0,25
Lavatório	0,13
Chuveiro-ducha	0,13
Chuveiro (10 cm)	0,25
Chuveiro (15 cm)	0,50

Tabela 2 - Vazões Unitárias de Aparelhos Sanitários - Método Britânico.

- a segunda tabela - Tabela 3 - relaciona as vazões máximas possíveis com as vazões de projeto, sendo que para vazões máximas superiores a 32 l/s a vazão de projeto é estimada em 20% da vazão máxima possível.

O procedimento para a obtenção da vazão de projeto de um trecho do sistema predial de distribuição de água fria que atende aos aparelhos sanitários de diferentes tipos consiste em:

- determinar o número de aparelhos sa-

nitários de cada tipo a jusante do trecho;

- obter a vazão máxima possível, a partir das vazões unitárias de cada tipo de aparelho sanitário, apresentadas na Tabela 2, e do número de aparelhos instalados;
- determinar a vazão de projeto a partir da vazão máxima possível, utilizando a Tabela 3.

Podemos observar que este método não permite considerar diferenciação de usos (tipos de edifício) e não apresenta critérios para a determinação das vazões de projeto quando existirem aparelhos sanitários com válvulas fluxíveis.

Vazão Máxima Possível (l/s)	Vazão de Projeto (l/s)	Vazão Máxima Possível (l/s)	Vazão de Projeto (l/s)
até 0,76	100% de VMP	5,11	2,22
0,88		5,93	2,45
1,01		6,75	2,65
1,14		7,76	2,84
1,26		8,96	3,03
1,45		10,28	3,28
1,64		11,86	3,53
1,89		13,63	3,85
2,21		15,65	4,10
2,52		18,04	4,48
2,90		20,76	4,86
3,24		23,85	5,36
3,85		27,44	5,99
4,48		31,53	6,56
		>31,53	*

* 20% da vazão máxima possível.

Tabela 3 - Vazões de Projeto Método Britânico

2.1.4 Método da RAE-Repatrição de Águas Esgotos de São Paulo

O método utilizado pela Antiga Repatrição de Águas e Esgotos de São Paulo utiliza uma tabela e um gráfico para a determinação das vazões de projeto, com as seguintes características:

- a tabela - Tabela 4 - apresenta valores para as vazões unitárias para alguns tipos de aparelhos sanitários.

O gráfico - Gráfico 1 - relaciona a vazão máxima possível com os fatores de fluxo simultâneo, apresentando duas curvas distintas, uma para conjuntos de aparelhos sanitários sem válvulas fluxíveis (curva A) e a outra para conjuntos de aparelhos com válvulas fluxíveis (curva B).

O procedimento para a obtenção da vazão de

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

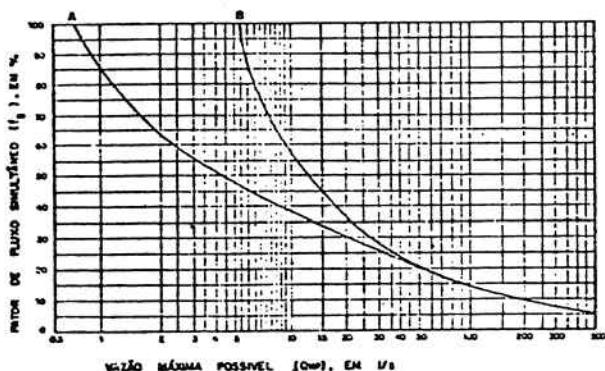
MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

projeto, de um determinado trecho de tubulação que atende a aparelhos sanitários de diferentes tipos, consiste em:

- . determinar o número de aparelhos sanitários de cada tipo instalados a jusante do trecho;
- . obter a vazão máxima possível, a partir das vazões unitárias de cada tipo de aparelho sanitário, apresentadas na Tabela 4 e do número de aparelhos instalados;
- . o fator de fluxo simultâneo é obtido a partir da vazão máxima possível, no Gráfico 1, utilizando-se a curva A ou B para conjunto de aparelhos sem ou com válvulas fluxíveis, respectivamente;
- . determinar a vazão de projeto através do produto da vazão máxima possível pelo fator de fluxo simultâneo obtido no gráfico 1.

Aparelho	q _u (l/s)
Bacia Sanitária com Válvula Fluxível	2,00
Mictório com Caixa de Descarga	0,15
Banheira	0,30
Lavatório	0,20
Bidê	0,10
Chuveiro	0,20

Tabela 4 - Vazões Unitárias de Aparelhos Sanitários - Método da RAE.



A - conjunto de aparelhos comuns, sem válvulas fluxíveis;
B - conjunto de aparelhos mistos, com válvulas fluxíveis.

Gráfico 1 - Fator de Fluxo Simultâneo - Método da RAE.

Este método, como a maioria dos métodos apresentados, não permite que se faça a diferenciação entre edifícios de usos distintos, no entanto, expressa uma distinção entre conjuntos de aparelhos sanitários com e sem válvulas fluxíveis.

2.1.5 Método da Raiz Quadrada Modificado

O método apresentado por Demergian 19, em 1978, analogamente ao Método da Raiz Quadrada, apresentado em 2.1.1, procura associar "pesos" aos diversos aparelhos sanitários e obter a vazão de projeto a partir de expressão matemática envolvendo o produto de constante pela raiz quadrada da soma dos "pesos" dos aparelhos sanitários, instalados a jusante do trecho considerado. A expressão matemática proposta é a seguinte:

$$Q_p = k_1 (k_2 \cdot 0,2 (P)^{1/2} + k_3 \cdot P) \dots \dots \dots (7)$$

sendo

$$P = \sum_{i=1}^N n_i \cdot P_i \dots \dots \dots (8)$$

onde:

k₁ - coeficiente dependente do tipo de ocupação do edifício - Tabela 5;

k₂ - coeficiente dependente da existência de sistema predial de água quente, para tubulações que alimentam os sistemas de água fria e quente k₂ = 1;

k₃ - coeficiente dependente do valor da $\sum_{i=1}^N n_i P_i$; este coeficiente é aplicado apenas para edifícios residenciais, sendo igual a zero para outros tipos de edifícios;

P - soma dos "pesos" de todos os aparelhos a jusante do trecho considerado;

Os valores de P_i, atribuídos aos aparelhos sanitários, estão apresentados na Tabela 6. A expressão para a obtenção dos valores de P_i é a seguinte:

$$P_i = \frac{q_i}{q_r} \dots \dots \dots (9)$$

sendo q_r = 0,2 l/s.

Assim, a partir do estabelecimento dos coeficientes k₁, k₂ e k₃, o proponente recomenda a aplicação das seguintes expressões:

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

. edifícios residenciais

- $P = 10 - Q_p = 0,2 (P)^{1/2} + 0,0020 P$.. (10)
- $P = 500 - Q_p = 0,2 (P)^{1/2} + 0,0023 P$.. (11)
- $P = 1200 - Q_p = 0,2 (P)^{1/2} + 0,0025 P$.. (12)
- $P = 6000 - Q_p = 0,2 (P)^{1/2} + 0,0031 P$.. (13)
- $P = 14000 - Q_p = 0,2 (P)^{1/2} + 0,0035 P$.. (14)
- $P = 30000 - Q_p = 0,2 (P)^{1/2} + 0,0039 P$.. (15)

. creches:

$$Q_p = 0,24 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (16)$$

. teatros e estações ferroviárias:

$$Q_p = 0,28 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (17)$$

. escritórios, lojas e hotéis:

$$Q_p = 0,30 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (18)$$

. escolas:

$$Q_p = 0,36 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

. hospitais e restaurantes:

$$Q_p = 0,40 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (20)$$

. quartéis:

$$Q_p = 0,50 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (21)$$

. estádios, banheiros em indústrias e casas de banho:

$$Q_p = 0,60 (P)^{1/2} \dots\dots\dots (22)$$

Tipo de Edifício	k_1
Residenciais	1,0
Creches	1,2
Teatros, Clínicas e Estações Ferroviárias	1,4
Escritórios, lojas e indústrias	1,5
Escolas	1,8
Hospitais e Restaurantes	2,0
Hotéis	2,5
Quartéis, Banheiros em Indústrias	3,0

Tabela 5 - Valores de k_1 - Método da Raiz Quadrada Modificado.

Tipo de Aparelho	q_1 (l/s)	P_1	pressão mínima (m.c.a.)
Plta de Cozinha/Tanque	0,20	1,0	2,0
Lavatório	0,07	0,35	2,0
Mictório c/ Caixa de Descarga	0,20	1,0	2,0
Bacia Sanitária c/ Caixa de Descarga	0,10	0,5	2,0
Bacia Sanitária c/ Válvula Fluxível	1,20	6,0	6,0
Bebedouro	0,035	0,17	2,0
Banheira	0,20	1,0	3,0
Cruveiro	0,20	1,0	3,0

Tabela 6 - Valores de q_1 e P_1 e Pressões Mí-nimas Residuais - Método da Raiz Quadrada Modificado.

Cabe comentar que, neste método, a determinação dos "pesos" atribuídos aos diversos tipos de aparelhos é feita através da relação entre a vazão unitária de cada tipo de aparelho e a vazão de referência (expressão (9)), enquanto que no Método da Raiz Quadrada (Alemão) a determinação de "pesos" é feita elevando-se ao quadrado a referida relação de vazões (expressão (3)).

Cabe comentar, também, que o Método da Raiz Quadrada Modificado permite a obtenção de vazões de projeto diferenciadas em função do tipo de edificação objeto do projeto.

Passemos, a seguir, à apresentação dos métodos probabilísticos.

2.2 Métodos Probabilísticos

Os métodos probabilísticos têm suas raízes nos trabalhos desenvolvidos por Hunter, e publicados pelo Bureau of Standards-USA, em 1924 (32) e em 1932 (33). Não apresentaremos os métodos de Gallizio, de Burberry/Wise e do CP-310/Howick, pois estes seguem os mesmos princípios adotados no método de Hunter, e foram anteriormente abordados em (1).

2.2.1 Método de Hunter

O método de Hunter, apresentado em versão definitiva, foi proposto em 1940 (20), e posteriormente Eaton e French (34), em 1951, publicaram uma versão voltada para a aplicação direta e prática do referido método.

Passemos a descrever os fundamentos deste

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

método.

A função de distribuição de probabilidades, considerada por Hunter, é a Binomial. Assim, podemos escrever:

$$Pr^n = C_r^n P^r (1-p)^{n-r} \dots \dots \dots (23)$$

onde:

Pr^n - probabilidade de quaisquer r aparelhos e somente r, de um total de n aparelhos instalados, serem encontrados em funcionamento, em um determinado instante;

C_r^n - número de combinações de n aparelhos r a r;

p - probabilidade de um dado aparelho estar em funcionamento.

A probabilidade P, de que um dado aparelho esteja em funcionamento pode ser expressa por:

$$P = \frac{\bar{t}}{\bar{T}} \dots \dots \dots (24)$$

onde:

\bar{t} - duração média da descarga do aparelho;

\bar{T} - intervalo de tempo médio entre os inícios ou terminos de duas descargas consecutivas.

Assim, para alguns tipos de aparelhos sanitários, Hunter considerou valores de \bar{t} e \bar{T} , observados em horas de uso congestionado (ver Tabela 7).

Tipo de Aparelho	t (s)	T (s)	P
Bacia Sanitária c/ Válvula Fluxível	9	300	0,030
Bacia Sanitária c/ Caixa de Descarga	60	300	0,200
Banheira Tipo 1	60	900	0,067
Banheira Tipo 2	120	1800	0,067

Tabela 7 - Valores de p - Método de Hunter

O critério adotado por Hunter, baseia-se na consideração de que o sistema estará funcionando satisfatoriamente, quando for dimensionado para um número de m aparelhos em uso simultâneo, em um conjunto de n aparelhos,

de um mesmo tipo, se um número maior do que m aparelhos for encontrado em uso simultâneo menos do que 1% do tempo. Esta consideração pode ser expressa por:

$$\sum_{r=m+1}^n Pr^n + \sum_{r=m+2}^n Pr^n + \dots + \sum_{r=n-1}^n Pr^n + \sum_{r=n}^n Pr^n < 0,01 \dots \dots (25)$$

ou

$$\sum_{r=m+1}^n Pr^n = \sum_{r=m+1}^n C_r^n P^r (1-p)^{n-r} < 0,01 \dots (26)$$

Podemos também escrever:

$$\sum_{r=0}^m Pr^n = \sum_{r=0}^m C_r^n P^r (1-p)^{n-r} \geq 0,99 \dots (27)$$

sendo m o menor inteiro que satisfaça as desigualdades acima.

A partir do critério adotado e dos valores constantes da Tabela 7, Hunter construiu as curvas que relacionam valores m com n, para bacias sanitárias com válvula de descarga, bacias sanitárias com caixa de descarga e banheiras (Gráfico 2). Considerando as vazões de cada um dos aparelhos acima, construiu um outro gráfico, relacionando, agora, o número total de aparelhos sanitários instalados, com a vazão de projeto, estabelecida em função do número m de aparelhos em uso simultâneo (ver Gráfico 3).

Assim, a partir deste gráfico, podemos determinar a vazão de projeto, que será superada em menos do que 1% do tempo, em função do número total de aparelhos sanitários de um mesmo tipo.

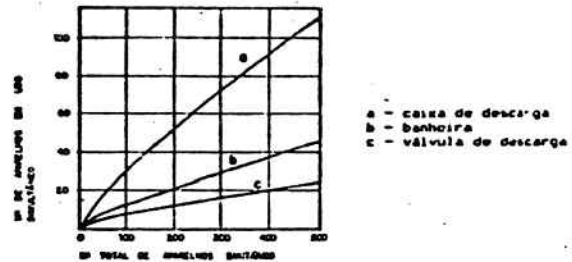


Gráfico 2 - Número de Aparelhos em Uso Simultâneo - Método de Hunter

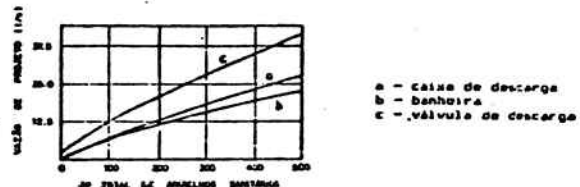


Gráfico 3 - Vazão de Projeto - Método de Hunter.

SISTEMA PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

Hunter, ao ampliar o campo de aplicação de seu método para sistemas mistos de aparelhos sanitários, introduziu a utilização de "pesos" relativos aos diversos tipos de aparelhos, procurando estabelecer uma simplificação de procedimentos na determinação da vazão de projeto.

A partir do Gráfico 3, fixando-se um dado valor de vazão pode-se obter os números de aparelhos de cada tipo, para os quais esta seria a vazão de projeto. Então, Hunter fixou o valor 10 como sendo o "peso" f , associado a uma bacia sanitária com válvula fluvível. Assim, em função deste "peso", procurou determinar os "pesos" que deveriam ser atribuídos aos outros tipos de aparelhos sanitários, de maneira que para um conjunto misto de aparelhos sanitários, pudessemos calcular a vazão de projeto a partir do "peso" total associado ao conjunto. Desta forma, dois conjuntos diferentes que tivessem um mesmo "peso" total, teriam suas tubulações dimensionadas com a mesma vazão de projeto.

Como podemos observar na Tabela 8, Hunter utilizou o produto $f.n$ para estabelecer os "pesos" associados aos outros aparelhos sanitários.

Verificamos, ainda, que o valor de f , "peso", cresce com o aumento da vazão, não sendo constante, como assumido por Hunter.

Vazão l/s	Válvulas Fluvíveis		Caixas de descarga		Banheiras	
	n	f	n	f	n	f
9	52	10	125	4,16	157	3,31
12	85	10	176	4,69	226	3,81
15	124	10	226	5,48	294	4,22
18	164	10	276	5,95	-	-
"peso" médio	-	-	-	5,11	-	3,70
"peso" adotado	-	10	-	5	-	4

Tabela 8 - Cálculo dos "pesos" - Método de Hunter

A partir dos valores de f adotados, o autor apresenta um gráfico (ver Gráfico 4), que relaciona os produtos $f.n$ com a vazão de projeto, para cada tipo de aparelho. No entanto, o autor propõe um outro gráfico, para o cálculo da vazão de projeto, fazendo, assim, algumas simplificações no gráfico anterior (ver Gráfico 5). E apresentada, também, uma tabela de "pesos" de diversos aparelhos sanitários (ver Tabela 9).

Cabe comentar que o método de Hunter, apesar de ser largamente utilizado, carrega consigo uma série de imprecisões, principalmente quando aplicado ao dimensionamento de sistemas mistos de aparelhos sanitários.

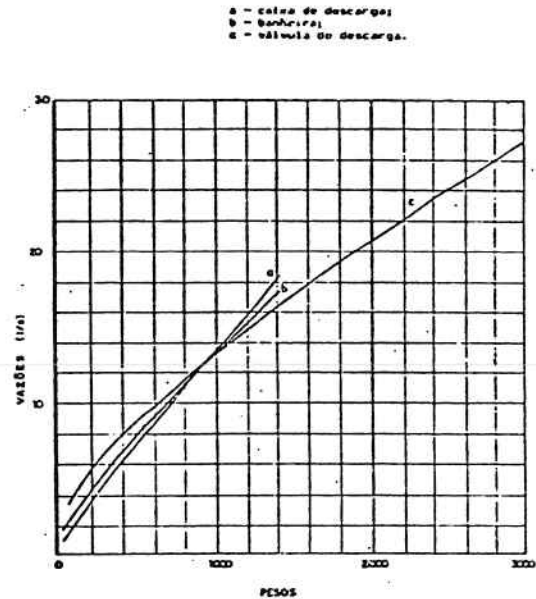


Gráfico 4 - Vazões x "pesos" - Método de Hunter.

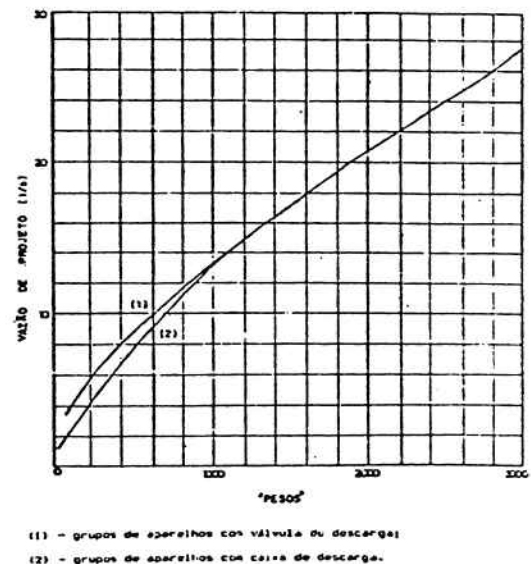


Gráfico 5 - Vazão de Projeto - Método de Hunter.

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

Aparelho ou Grupo de Aparelhos	Natureza da Sanção	Peça Controladora do Suprimento	"Peso"
Aparelhos Conjugados	Privada	Torneira	3
Bacia Sanitária	Privada	Caixa de Descarga	3
Bacia Sanitária	Privada	Válvula de Descarga	6
Bacia Sanitária	Pública	Caixa de Descarga	5
Barbeira	Privada	Torneira	2
Barbeira	Pública	Torneira	4
Chuveiro	Privada	Válvula Misturadora	2
Chuveiro	Pública	Válvula Misturadora	4
Chuveiro Separado	Privada	Válvula Misturadora	2
Despejo	Escritório	Torneira	3
Levatório	Pública	Torneira	1
Levatório	Pública	Torneira	2
Mictório Alongado	Pública	Caixa de Descarga	3
Mictório Alongado (de piso)	Pública	Válvula de Descarga	5
Mictório de Parede	Pública	Válvula de Descarga	10
Pia de Cozinha	Hotel ou Restaurante	Torneira	4
Pia de Cozinha	Privada	Torneira	2
Quarto de Banho	Privada	Caixa para bacia Sanitária	6
Quarto de Banho	Privada	Válvula para Bacia Sanitária	6
Tanque	Privada	Torneira	3

Tabela 9 - "Pesos" Associados aos Aparelhos Sanitários - Método de Hunter.

Ainda, quanto à sua aplicação em sistemas de aparelhos sanitários de um mesmo tipo, o método não permite que se considere as características particulares do edifício, com relação ao uso específico, à população servida e à constituição da acomodação sanitária, quando fixa valores para as frequências de utilização dos diversos aparelhos.

2.2.2 Método de Webster

O método proposto por Webster (26) em 1972, baseia-se na aplicação da função de distribuição de probabilidades Binomial (Binomial Generalizada), estendida para conjunto de aparelhos sanitários de diferentes tipos.

Consideremos um conjunto de aparelhos sanitários, atendidos por trecho de tubulação do sistema predial de distribuição de água fria, assim constituído:

- . n_1 aparelhos do tipo 1;
- . n_2 aparelhos do tipo 2;
- . .
- . .
- . n_i aparelhos do tipo i

Admitamos, ainda, que estejam em funcionamento simultâneo os seguintes aparelhos:

- . r_1 aparelhos do tipo 1, $0 \leq r_1 \leq n_1$;
- . r_2 aparelhos do tipo 2, $0 \leq r_2 \leq n_2$;
- . .
- . r_i aparelhos do tipo i, $0 \leq r_i \leq n_i$.

A função de distribuição de probabilidades Binomial considerando-se independência estatística entre os diferentes tipos de aparelhos sanitários, pode ser assim aplicada:

$$. Pr_1^{n_1} = Cr_1^{n_1} P_1^{r_1} (1 - p_1)^{n_1 - r_1} \dots \dots \dots (28)$$

$$. Pr_2^{n_2} = Cr_2^{n_2} P_2^{r_2} (1 - p_2)^{n_2 - r_2} \dots \dots \dots (29)$$

$$. Pr_i^{n_i} = Cr_i^{n_i} P_i^{r_i} (1 - p_i)^{n_i - r_i} \dots \dots \dots (30)$$

onde:

P_i - probabilidade de que um aparelho do tipo i esteja em funcionamento;

A probabilidade de que tenhamos somente r_1 aparelhos do tipo 1, r_2 aparelhos do tipo 2, ..., r_i aparelhos do tipo i em uso simultâneo é expressa por:

$$Pr_1, r_2, \dots = Pr_1^{n_1} Pr_2^{n_2} \dots Pr_i^{n_i} \dots \dots \dots (31)$$

Conhecendo-se as vazões unitárias associadas a cada tipo de aparelho sanitário, temos:

$$Q_{r_1, r_2, \dots} = r_1 q_1 + r_2 q_2 + \dots \dots \dots (32)$$

onde,

$Q_{r_1, r_2, \dots}$ - vazão resultante do funcionamento simultâneo de r_1 aparelhos do tipo 1, r_2 aparelhos do tipo 2, ..., r_i aparelhos do tipo i;

Assim, podemos calcular todos os valores possíveis de Q_{r_1, r_2, \dots, r_i} e as respectivas probabilidades de ocorrência desta vazão Pr_1, r_2, \dots, r_i . Temos, conseqüentemente, a distribuição de probabilidades associada às vazões que ocorrem no trecho considerado, podendo-se determinar a vazão de projeto a partir do estabelecimento do fator de falha (ϵ) desejado, isto é:

$$P(Q_{r_1, r_2, \dots, r_i} \geq Q_p) \leq \epsilon \dots \dots \dots (33)$$

Webster sugere para o fator de falha o valor de 0,001 (0,1%).

Há que se comentar que a metodologia proposta por Webster apresenta uma abordagem probabilística ao problema mais adequada do que aquela proposta por Hunter, para sistemas mistos de aparelhos sanitários. Entre

tanto, este método necessita grande esforço computacional, tendo-se em vista a necessidade de se calcular todos os pares $Q_{r1}, r_2, \dots, r_1, P_{r1}, r_2, \dots, r_1$

2.2.3 Método de Courtney

Courtney (27) apresenta um procedimento para a determinação das vazões de projeto, visando sua aplicação a sistemas mistos de aparelhos sanitários, em edifícios de apartamentos.

O proponente, a partir de dados colhidos durante o período de um ano em um edifício de apartamentos, efetuou uma análise dos mesmos, utilizando a função de distribuição Multinomial, como elemento de previsão de vazões de projeto.

Apresentaremos, então, o modelo probabilístico utilizado por Courtney.

Suponhamos que para um dado ambiente sanitário, alimentado por uma coluna de distribuição, possam ocorrer m diferentes valores de vazões, $Q_1, Q_2, \dots, Q_1, \dots, Q_m (Q_1 \neq 0)$, com probabilidades $P_1, P_2, \dots, P_1, \dots, P_m$ associadas a estas vazões, durante um período de pico, e também, uma probabilidade P_0 de que o sistema esteja inoperante, ou seja, com vazão nula. Então, a probabilidade de que para n apartamentos, alimentados pela coluna de distribuição considerada, x_0 apartamentos estejam com vazão nula, x_1 apartamentos estejam com vazão Q_1, \dots, x_m apartamentos estejam com vazão Q_m , pode ser calculada pela função de distribuição Multinomial.

$$P(X_0 = x_0, \dots, X_m = x_m) = n! \frac{P_0^{x_0} \dots P_m^{x_m}}{x_0! \dots x_m!} \dots (34)$$

sendo:

$$x_0 + \dots + x_m = n \dots (35)$$

e

$$P_0 + \dots + P_m = 1 \dots (36)$$

A vazão total, associada aos valores x_0, x_1, \dots, x_m , pode ser expressa por:

$$Q = x_1 Q_1 + x_2 Q_2 + \dots + x_m Q_m \dots (37)$$

Courtney desenvolveu um programa de computador que permite o cálculo das expressões 34 e 37, para cada combinação possível.

Courtney recomenda, também, que a vazão de projeto seja superada em somente 1% do tempo, durante o período de pico. Assim, o fator de falha proposto pelo autor é igual a 0,01 (1%).

Ainda, Courtney (27) compara os resultados obtidos, utilizando a análise Multinomial, com os valores das vazões de projeto calculados segundo a Norma Britânica (CP-310 / Howick), mostrando que a análise Multinomial conduz a valores sensivelmente menores.

Cabe comentar, que a aplicabilidade do método proposto por Courtney, utilizando a função de distribuição de probabilidades Multinomial, restringe-se a conjuntos de aparelhos sanitários idênticos, que se repetem ao longo de uma edificação, caso típico de edifício de apartamentos. Este método exige, para sua aplicação, um grande esforço computacional, como também ocorre com o método de Webster.

2.2.4 Método de Konen (Hunter Modificado)

Konen, utilizando os mesmos princípios da formulação probabilística desenvolvidos por Hunter, propôs, em 1980, novos "pesos" atribuídos aos aparelhos sanitários, em função de resultados obtidos em pesquisa de campo, financiada pela American Society of Plumbing Engineers-ASPE, e também nova curva relacionando a vazão de projeto à soma de "pesos" dos aparelhos instalados a jusante do trecho considerado. Na Tabela 10 apresentamos os novos valores de "pesos" atribuídos aos aparelhos sanitários e no Gráfico 6 a curva modificada, em função dos novos parâmetros propostos por Konen.

Em 1984, Konen (30) apresenta nova proposição de parâmetros e substitui a curva do Gráfico 6 por expressões matemáticas.

Aparelho	Duração do Uso(s)	Frequência de Uso (s)	Usos p/hora	Vazões (l/s)	"Peso"
Bacia com Válv. Fluxível	9	1.200	3	1,70	10,0
Bacia c/ Caixa de Descarga	90	1.200	3	0,19	3,5
Lavatório	60	1.200	3	0,13	1,0
Banheira	300	3.600	1	0,39	10,9
Pia de Cozinha	45	1.200	3	0,25	2,25

Tabela 10 - Parâmetros Propostos por Konen - 1980.

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA CUNHA E ORESTES M. GONÇALVES

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros propostos por Konen, em 1984 e na Tabela 12 os valores dos "pesos" atribuídos a diversos aparelhos sanitários, diferenciando os "pesos" relativos aos sistemas de distribuição de água fria e de água quente.

$$Q_p = \frac{1}{15,85} (3,54 \cdot 10^{10} P^3 - 1,166 \cdot 10^5 P^2 + 0,1263 P + 10,9 \dots) (38)$$

para sistemas prediais com bacias sanitárias alimentadas por válvulas fluxíveis:

$$5 < P < 1.000$$

$$Q_p = \frac{1}{15,85} (15 + 11,50 \log P + 8,50 \log^2 P) \dots (39)$$

onde:

P - soma dos "pesos" de todos os aparelhos sanitários a jusante do trecho considerado.

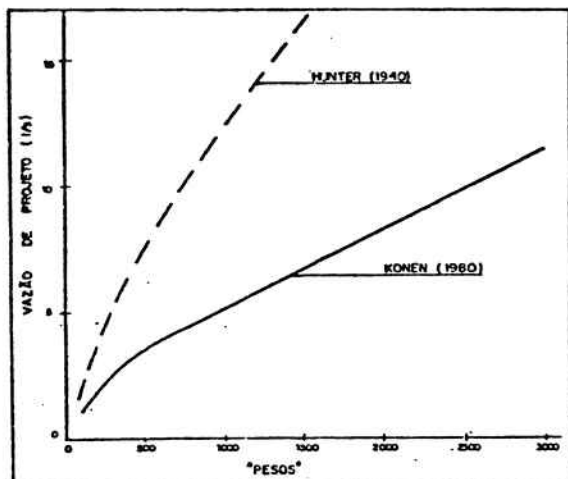


Gráfico 6 - Vazões x "Pesos" - Konen 1980.

Aparelho Sanitário	Vazão (l/s)	Duração de Uso t (min)	Frequência de Uso T (min)	Probabilidade t/T
Barreira	0,38	5,000	40	0,125
Chuveiro	0,19	6,000	40	0,150
Bacia Sanitária c/ Caixa de Descarga	0,19	1,250	20	0,0625
Bacia Sanitária c/ Válvula Fluxível	1,51	0,150	20	0,0075
Pia	0,22	0,083	5	0,0166
Lavatório	0,13	0,167	10	0,0167

Tabela 11 - Parâmetros propostos por Konen - 1984.

As expressões matemáticas propostas para a determinação da vazão de projeto são as seguintes:

- para sistemas prediais com bacias sanitárias alimentadas por caixas de descarga:

$$10 < P < 10.000$$

Aparelho Sanitário ou Grupo de Aparelhos	Tipo de Alimentação	"Pesos"		
		Água Q.	Água F.	Total
Grupo de Aparelhos do Banheiro	Válvula Fluxível	3,00	6,00	6,00
Grupo de Aparelhos do Banheiro	Caixa de Descarga	3,00	4,50	6,00
Barreira	Torneira	7,50	7,50	10,00
Lavadora de Roupa	-	2,00	2,00	3,00
Aparelho Combinado (Pia e Tanque)	Torneira	2,00	2,00	3,00
Lavadora de Pratos	-	2,00	-	2,00
Bebedouro	Torneira	-	-	0,25
Pia de Cozinha	Torneira	1,50	1,50	2,00
Tanque de lavar Roupa	Torneira	2,00	2,00	3,00
Lavatório	Torneira	0,75	0,75	1,00
Mictório tipo Pedestal	Válvula Fluxível	-	4,00	4,00
Pia de Restaurante	Torneira	3,00	3,00	4,00
Tanque de Serviço	Torneira	1,50	1,50	2,00
Chuveiro	Torneira Mist.	3,75	3,75	5,00
Mictório de Parede	Válvula Fluxível	-	3,00	3,00
Mictório de Parede	Caixa de Descarga	-	2,00	2,00
Bacia Sanitária	Válvula Fluxível	-	5,00	5,00
Bacia Sanitária	Caixa de Descarga	-	2,00	2,00

Tabela 12 - "Pesos" Atribuídos aos Aparelhos Sanitários, de Instalações Residenciais, Comerciais, Hotéis e Serviços Similares - Konen 1984.

As proposições de Konen, bastante recentes, procuram estabelecer parâmetros mais adequados ao método de Hunter. Contudo, o método de Konen não apresenta contribuições ao nível do modelo teórico, de 1940, desenvolvido por Roy B. Hunter.

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

2.2.5 Método Sueco

O método utilizado na Suécia, empregando uma formulação probabilística, é apresentada no Código de Edificações Sueco - Capítulo 5 (35) e por Holmberg na reunião do CIB-W62 em 1985 (36).

A expressão utilizada para a determinação da vazão de projeto é a seguinte:

$$Q_p = q_{max} + \theta (\Sigma q - q_{max}) + A\sqrt{(\bar{q}\theta)} \sqrt{\Sigma q - q_{max}} \dots\dots\dots (40)$$

onde:

- q_{max} - a maior vazão unitária de um aparelho sanitário atendido (l/s)
- \bar{q} - valor médio das vazões dos aparelhos ligados a jusante (l/s)
- θ - probabilidade de ocorrência de \bar{q} no período de pico
- Σq - somatória das vazões unitárias dos aparelhos sanitários (l/s)
- A - fator de risco

Os valores adotados na Suécia para edifícios habitacionais, comerciais, etc são os seguintes:

- $q_{max} = 0,4$ l/s (0,2 l/s caso não haja banheira)
- $\bar{q} = 0,2$ l/s
- $\theta = 0,015$ e $A = 3,1$

Na tabela 13 são apresentados valores das vazões unitárias de alguns aparelhos sanitários

Aparelho Sanitário	Vazão Unitária q(l/s)	
	Água Fria	Água Quente
Banheira	0,4	0,2
Chuveiro	0,2	0,2
Pia de cozinha	0,2	0,2
Lavatório	0,1	0,1
Bacia sanitária (com caixa de descarga)	0,1	—
Bidê	0,1	0,1
Maq. de Lavar Roupa ≤ 5 kg	0,2	—
Maq. de Lavar Roupa > 5 kg	0,4	—
Maq. de Lavar Prato	0,2	0,2

Tabela 13 - Vazoes unitarias (q) dos aparelhos sanitários - Método Sueco

Cabe comentar que a formulação proposta neste método se assemelha com aquela desenvolvida em 1978 por Graça e Gonçalves, e apresentada no Capítulo 6 de (1)

2.2.6 Método de Murakawa

Murakawa (31) em 1985, apresenta método para a determinação das vazões de projeto, a partir de levantamento de campo, propondo para edifícios habitacionais no Japão, uma logamente às propostas de Hunter e Konec, "pesos" associados a aparelhos sanitários e curva para a obtenção da vazão de projeto em função da soma dos "pesos" dos aparelhos sanitários, instalados a jusante do trecho considerado. Os "pesos" propostos por Murakawa estão apresentados na Tabela 14, e a curva acima mencionada no Gráfico 7.

Aparelho Sanitário	"Peso"
Banheira	2,0
Máquina de Lavar Roupa	4,0
Pia de Cozinha Água Fria	1,5
Pia de Cozinha Água Quente	0,5
Lavatório	1,0
Bacia com Caixa de Descarga	1,0

Tabela 14 - "Pesos" Atribuídos aos Aparelhos Sanitários - Método de Murakawa - 1985.

A formulação matemática proposta por Murakawa baseia-se na função distribuição de probabilidades Poisson, derivada a partir da Teoria das Filas, considerando que o número de aparelhos sanitários instalados tende a infinito. Assim:

$$P_r = \frac{e^{-an} \cdot (an)^r}{r!} \dots\dots\dots (41)$$

onde:

a - número médio de aparelhos sanitários

ocupados pelos usuários;

n - relação entre a duração média da descarga do aparelho e o tempo médio de ocupação do mesmo pelo usuário;

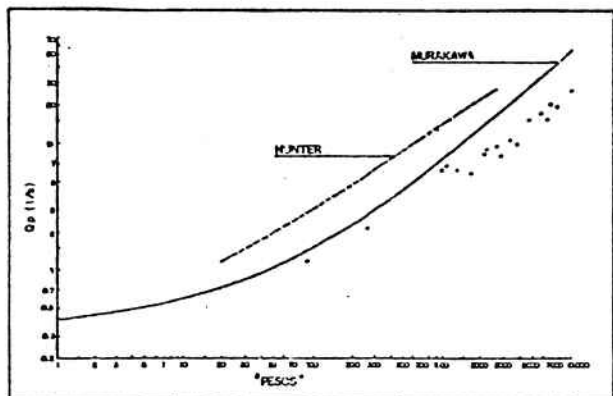


Gráfico 7 - Vazões x "Pesos" - Murakawa.

Conforme definido por Murakawa, o parâmetro a é o número médio de aparelhos ocupados pelos usuários. Podemos então escrever:

$$a = n \cdot P_{OC} \dots\dots\dots(42)$$

onde:

P_{OC} - probabilidade de que um determinado aparelho esteja sendo ocupado por um usuário.

Temos ainda que:

$$P_{OC} = \frac{T_{OC}}{\bar{T}} \dots\dots\dots(43)$$

onde:

T_{OC} - tempo médio de ocupação do aparelho sanitário pelo usuário;

A relação, entre a duração média da descarga (\bar{t}) e o tempo médio de ocupação do aparelho (T_{OC}), pode ser assim expressa:

$$n = \frac{\bar{t}}{T_{OC}} \dots\dots\dots(44)$$

Façamos o produto de a por n , conforme figura na expressão (41):

$$an = n P_{OC} \dots\dots\dots(45)$$

Substituindo-se P_{OC} da expressão (43) e da expressão (44) na expressão (45), vem:

$$an = n \cdot \frac{T_{OC}}{\bar{T}} \cdot \frac{\bar{t}}{T_{OC}} = n \frac{\bar{t}}{\bar{T}} \dots\dots\dots(46)$$

Substituindo-se, ainda, p da expressão (24) na expressão (46), temos:

$$an = np = \text{constante} \dots\dots\dots(47)$$

Podemos então substituir o produto an , da expressão (47), na expressão (41), proposta por Murakawa. Temos:

$$P_r^n = \frac{e^{-\lambda} \lambda^r}{r!} \dots\dots\dots(48)$$

Consideremos, agora, a expressão (23), proposta por Hunter, para o cálculo de P_r^n .

$$P_r^n = C_r^n p^r (1-p)^{n-r} \dots\dots\dots(49)$$

Substituindo p na expressão (49) por λ/n , da expressão (47), e desenvolvendo-se a função de distribuição de probabilidades Binomial, temos:

$$P_r^n = \frac{n!}{r! (n-r)!} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^r \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{n-r} \dots\dots\dots(50)$$

Reagrupando-se os termos da expressão (50), vem:

$$P_r^n = \frac{\lambda^r}{r!} \cdot \frac{n!}{(n-r)! n^r} \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^n \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-r} \dots\dots\dots(51)$$

Conforme considerado por Murakawa, $n \rightarrow \infty$, logo:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{(n-r)! n^r} = 1 \dots\dots\dots(52)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^n = e^{-\lambda} \dots\dots\dots(53)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-r} = 1 \dots\dots\dots(54)$$

Logo, a expressão (51), quando $n \rightarrow \infty$, pode ser assim escrita:

$$P_r^n = \frac{\lambda^r}{r!} \cdot e^{-\lambda} \dots\dots\dots(55)$$

Considerando-se a expressão (55) com a expressão (48), que foi obtida a partir da expressão (41), podemos concluir que a expressão proposta por Murakawa é a aproximação da função de distribuição de probabilidades Bi

nomial pela função de distribuição de probabilidades Poisson, quando $n \rightarrow \infty$, e $\lambda = np =$ constante.

A utilização da função de distribuição de probabilidade Poisson, apresenta facilidades computacionais quando comparada com a função de distribuição de probabilidades Binomial. Entretanto, a consideração de que o número de aparelhos sanitários tende a infinito ($n \rightarrow \infty$) pode introduzir erros na formulação matemática, para pequenos valores de n . Assim, Murakawa, a partir da formulação matemática considerada (Poisson) e dos levantamentos de campo realizados, propôs, praticamente, modelo similar ao proposto por Hunter, utilizando os mesmos conceitos para o estabelecimento de "pesos" associados aos aparelhos sanitários.

Com o intuito de verificarmos a dispersão dos resultados obtidos através da aplicação dos diversos modelos apresentados, desenvolveremos um exemplo ilustrativo.

3. APLICAÇÃO NUMÉRICA E COMENTÁRIOS FINAIS

Consideremos um sistema predial de distribuição de água fria que atenda a conjuntos de aparelhos sanitários, instalados em edifício habitacional, constituídos, cada um deles, pelos seguintes aparelhos:

- 1 bacia sanitária com caixa de descarga;
- 1 chuveiro;
- 1 lavatório;
- 1 pia de cozinha;
- 1 tanque.

Admitindo-se que as vazões unitárias dos aparelhos sanitários acima sejam aquelas apresentadas na NBR-5626 (ver Tabela 1), podemos calcular as vazões máximas possíveis utilizando-se a seguinte expressão:

$$Q_{mp} = (0,15 + 0,20 + 0,20 + 0,25 + 0,30)n_c = 1,10n_c \dots\dots\dots(56)$$

onde:
 Q_{mp} - vazão máxima possível no trecho considerado;

n_c - número de conjuntos de aparelhos sanitários, constituídos cada um, por 1 bacia sanitária com caixa de descarga, 1 chuveiro, 1 lavatório, 1 pia de cozinha e 1 tanque, instalados a jusante

te do trecho considerado.

Para uma melhor visualização das vazões de projeto, obtidas com a aplicação dos métodos, incluindo aqueles citados no início do item 2, e o relacionamento com as vazões máximas possíveis, calculadas pela expressão (56), procuraremos representar graficamente os resultados determinados. Para tanto, consideraremos que o número máximo de conjuntos de aparelhos sanitários n_c seja igual a 100.

Assim, a partir das vazões máximas possíveis, calculadas através da expressão (56), e das vazões de projeto, obtidas aplicando os métodos apresentados, construímos o Gráfico 8, relacionando estas vazões com o número de conjuntos de aparelhos sanitários (n_c), instalados a jusante do trecho considerado.

Através da observação das curvas apresentadas no Gráfico 8, há que se comentar:

- as vazões de projeto obtidas pelo Método de Timmis (mencionado no item 2) são superiores às vazões máximas possíveis, calculadas pela expressão (56); neste método a vazão máxima possível considerada para um conjunto de aparelhos sanitários (3,15 l/s) é 2,9 vezes superior àquela considerada pela NBR 5626 (1,1 l/s), o que resulta na adoção de vazões de projeto superestimadas;
- os valores das vazões de projeto, para o exemplo considerado, apresentam-se com grande variabilidade, em função do método escolhido; por exemplo, para 100 conjuntos de aparelhos sanitários (n_c) observamos que as vazões de projeto variam, aproximadamente, entre 1,2 l/s e 30,8 l/s (desconsiderando-se os resultados obtidos pelo Método de Timmis), correspondendo a fatores de fluxo simultâneo que variam entre 0,011 (1,1%) e 0,280 (28%);
- a comparação de resultados obtidos pelos métodos mencionados é praticamente inviabilizada pela falta de uma referência adequada que represente a realidade;
- nota-se a existência de uma leve tendência de diminuição das vazões de projeto, para mesmos valores de n_c , nos métodos propostos mais recentemente.

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO
 MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

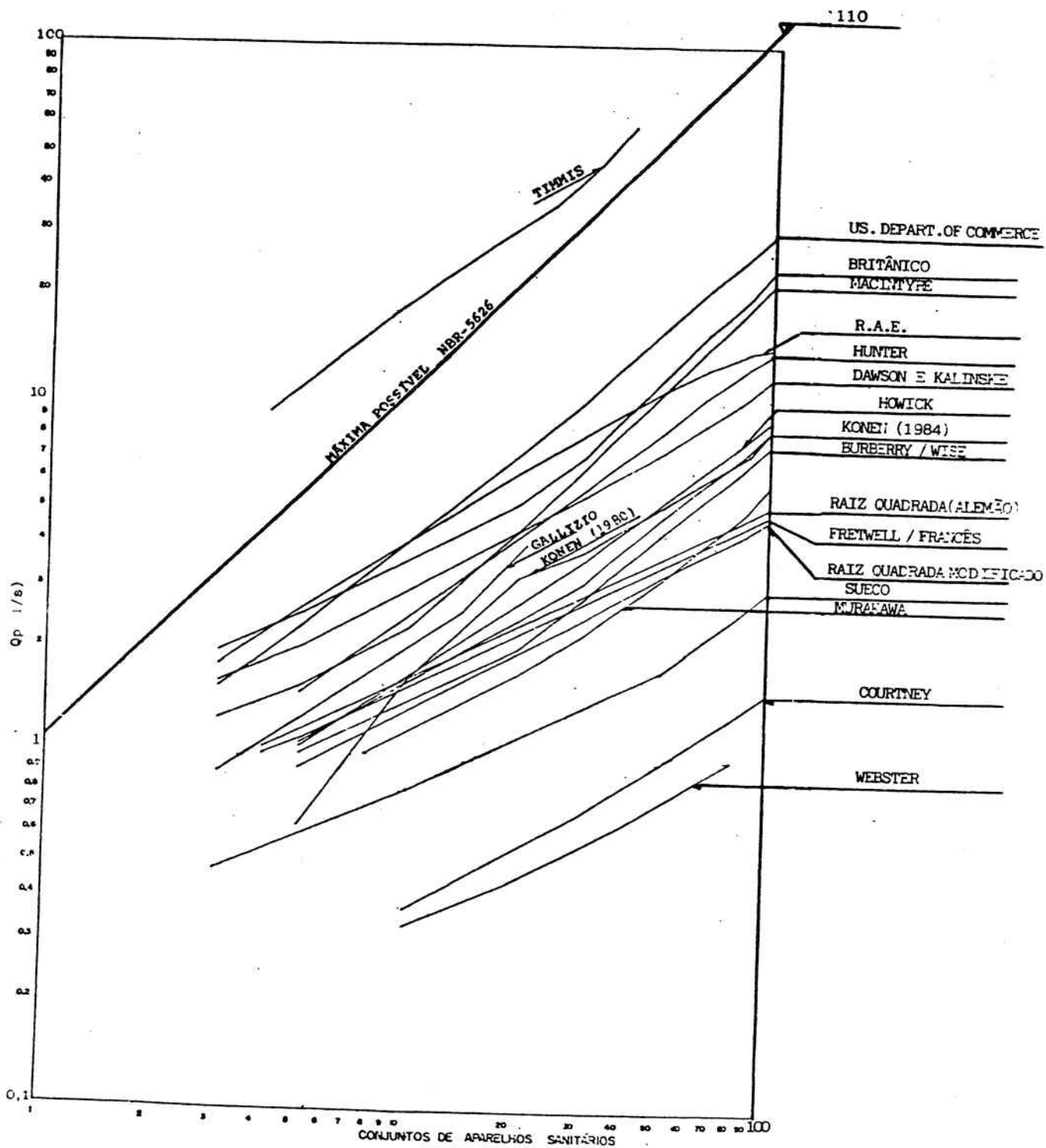


Gráfico 8 - Vazões de Projeto Obtidas pelos Métodos Apresentados

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA- DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

te;

na maioria dos métodos apresentados, observa-se a busca de procedimentos simplificados, fundamentados em considerações teóricas, quando existentes, que nem sempre representam a real complexidade do problema.

Assim, resumindo, podemos observar uma nitida tendência, dos propositores, em formular modelos de caráter universal nem sempre adequados às particularidades de cada situação de projeto, não permitindo ao projetista condições necessárias à tomada de decisão.

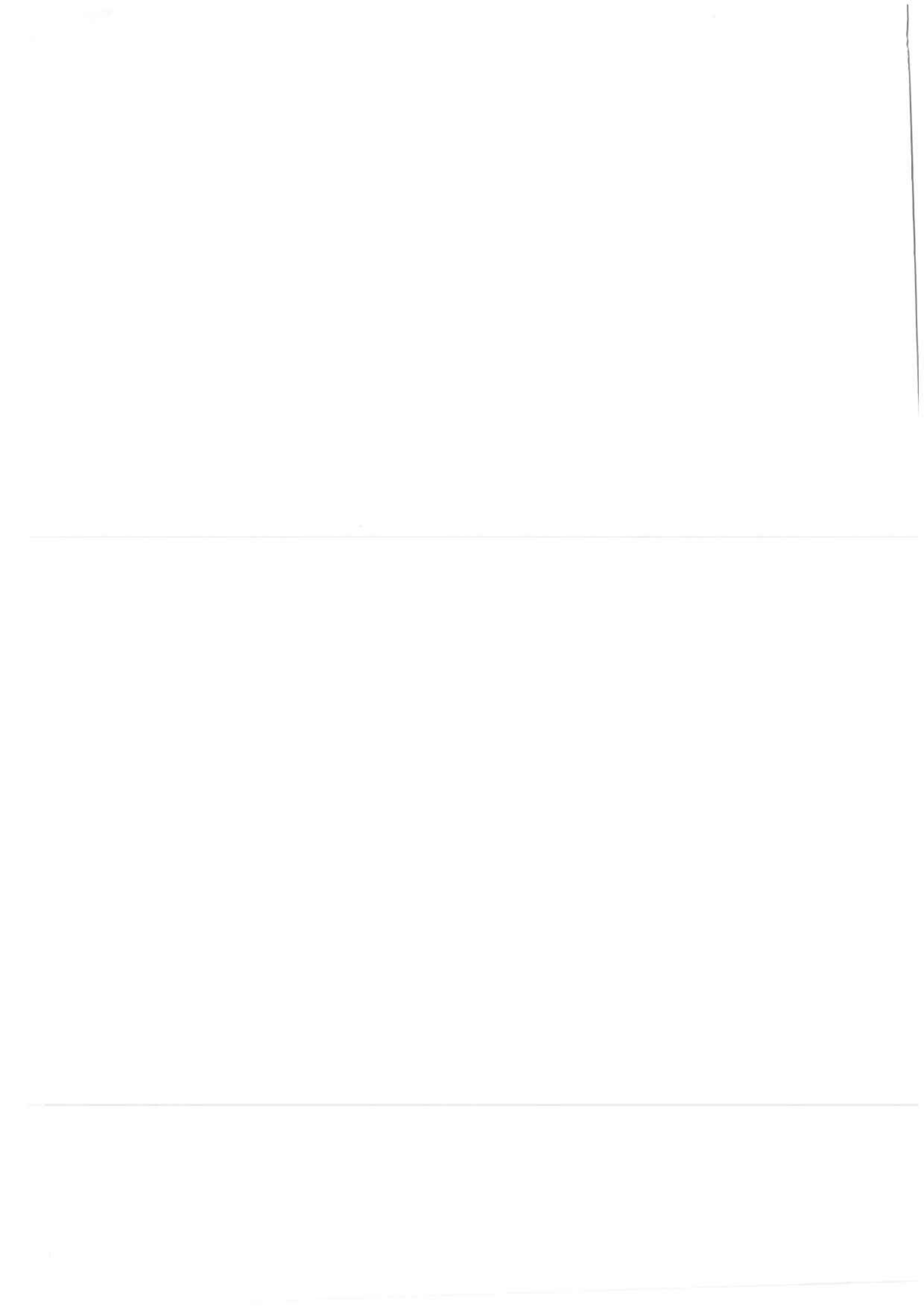
No boletim técnico BT-13 do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP apresentaremos um modelo para o estabelecimento de vazões de projeto, em sistemas prediais de distribuição de água fria, que permite a manipulação dos parâmetros intervenientes, de forma a representar adequadamente o real comportamento do sistema, e que seja aplicável às possíveis situações de projeto.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GONÇALVES, O.M.; "Influência do Uso Simultâneo de Aparelhos Sanitários no Dimensionamento de Instalações Prediais de Água Fria", Dissertação apresentada à Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, São Paulo, 1978.
2. TIMMIS, W.S.; - Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers, Vol.28, pg.397, 1922.
3. DAWSON, F.M., KALINSKE, A.A.; "Water Supply Piping for the Plumbing System", Technical Bulletin 3, National Association of Master Plumbers of the U.S.A., Inc., 1932.
4. DAWSON, F.M., BOWMAN, J.S.; "Interior Water Supply Residential Buildings", University of Wisconsin Engineering Experiment Station Series, Bulletin 77, 1933.
5. KESSLER, L.H.; "Hydraulics in Small House Plumbing", Report of Proceedings, American Society of Sanitary Engineering, 1933, 1934, pg.215.
6. KESSLER, L.H.; "Residential Water Supply Piping Design", Materials and Methods, Nov.1946 pg.89.
7. KESSLER, L.H.; "Some Points on Hydraulics in the Program for Adequate Piping", Domestic Engineering, June, 1946, pg. 110.
8. Richtlinien für die Berechnung der Kaltwasserleitungen in Hausanlagen, Gas-und Wasserfach, Vol.83, 29, 1940, pg.345.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT; "Instalações Prediais de Água Fria", NBR 5626, 1982.
10. CREDER, H.; "Instalações Hidráulicas e Sanitárias", Livros Técnicos e Científicos Editora S/A., 3ª Edição, 1984.
11. MANAS, V.T.; "National Plumbing Code Handbook", Mc Graw Hill Book Company, Inc., 1957.
12. ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION - AFNOR, "Distribution d'eau Chaude ou d'eau Froide", NF P41-101, Mai, 1942.
13. PYRRAIT, J.M.A. e SANTIAGO, A.S.P.; "Distribuição Águas Fria e Quente", Curso de Promoção Profissional 508, Documento 4, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, 1974.
14. THE INSTITUTION OF HEATING AND VENTILATING ENGINEERS; "Pipe-Sizing Data and Tables for Ducts", London, 1946 Edition.
15. HOWICK, H.A.; "Pipe Sizing to Hot and Cold Water Installations in SI Units", The Institute of Plumbing, U.K., 1972.
16. JEZLER, H.; "Determinação das Vazões de Dimensionamento nas Instalações Domiciliares de Água", Engenharia, junho, 1949.
17. GAY e FAWCETT; "Mechanical and Electrical Equipment for Building".
18. CARDÃO, C.; "Instalações Domiciliares", Edições Arquitetura e Engenharia, Belo Horizonte, 1966.
19. DEMERGIAN, H.; "Square Root Method for Determining the Design Load in a Plumbing System", Plumbing Enginner, Jan./Fev., 1978.
20. HUNTER, R.B.; "Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems", National Bureau of

SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO
MOACYR E. A. DA GRAÇA E ORESTES M. GONÇALVES

- Standards, Building Materials and Structures, Report BMS 65, 1940. Building Code Committee.
- 21 .GALLIZIO, A.; "Impianti Sanitari", Editore Ulrico Hoepli, Milano, 1964.
- 22 .BURBERRY, P.; "Hydraulics", Technical Study, Water Supply 1, The Architects Journal Informations Library, Oct., 1969.
- 23 .BURBERRY, P.; "Pipe-Sizing", Information Sheet: Water Supply 5, The Architects Journal Information Library, Oct., 1969.
- 24 .WISE, A.F.E.; "Water Sanitary and Waste Services for Buildings", 2nd edition, Batsford Academic and Educational Ltd., 1981.
- 25 .BRITISH STANDARDS INSTITUTION; "Water Supply", Code of Practice CP-310, London, 1965 e 1970.
- 26 .WEBSTER, C.D.; "An Investigation of The Use of Outlets in Multi-Storey Flats", The Buildings Services Engineer (JIHVE), Vol.39, January, 1972, pp.215-233.
- 27 .COURTNEY, R.G.; "A Multinomial Analysis of Water Demand", Building and Environment, Vol. 11, 203-209, Pergamon Press, 1976.
- 28 .KONEN, T.P., BRANDY JR., P.M.; "A Review of The Parameters in The Hunter Model for Estimating the Demand for Water Supply and Drainage", Proceedings of the CIB Commission W62, Symposium held at the Danish Building Research Institute, Horsholm, Denmark, September, 1974.
- 29 .KONEN, T.P.; "Modifying the Hunter Method", Plumbing Engineer, Vol.8 N.6, Nov./Dec. 1980.
- 30 .KONEN, T.P.; "Engineering Water Supply and Drainage Systems", Plumbing Engineer, Vol.12, N.4, July/August, 1984.
- 31 .MURAKAWA, S.; "Study on the Method for Calculating Water Consumption and Water Uses in Multi-Story Flats", 12th CIB-W62 Symposium - Water Supply and Drainage for Buildings, Tokiq 1985.
- 32 .BUREAU OF STANDARDS - UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE; "Recommended Minimum Requirements for Plumbing in Dwellings and Similar Buildings", Report of Subcommittee on Plumbing of the
- 33 .BUREAU OF STANDARDS - UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE; "Recommended Minimum Requirements for Plumbing", Report of Subcommittee on Plumbing of the Building Code Committee, EH 13, 1932.
- 34 .EATON, H.N. e FRANCH, J.L.; "Fixture Unit Ratings as Used in Plumbing System Design", Housing and Home Finance Agency, Housing Research Paper 15, March, 1951.
- 35 .Swedish Building Code - SEN - Chapter 51-Water Supply and Drainage Installations, 1980.
- 36 .HOLMBERG, S; "Field Investigations of Flow in Water Supply Networks with the Help of Computers", Proceedings of CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, Tokyo, April, 1985.



- BT 01/86 - Ação do Incêndio sobre as Estruturas de Concreto Armado
The Effect of Fire on Reinforced Concrete Structures
FRANCISCO R. LANDI
- BT 02/86 - Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente
Masonry Mortar for Structural Brickwork
FERNANDO H. SABBATINI
- BT 03/86 - Controle de Qualidade do Concreto
Quality Control of the Concrete
PAULO R. L. HELENE
- BT 04/86 - Fibras Vegetais para Construção Civil - Fibra de Coco
Vegetable Fibres for Building - Coir fibres
HOLMER SAVASTANO JUNIOR
- BT 05/86 - As Obras Públicas de Engenharia e a sua Função na Estruturação da Cidade de São Paulo
The Public Works of Civil Engineering and its Function on Structuring the City of São Paulo
WITOLD ZMITROWICZ
- BT 06/86 - Patologia das Construções. Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação
Building Pathology. Diagnosis and Recovering Procedures
NORBERTO B. LICHTENSTEIN
- BT 07/86 - Medidas Preventivas de Controle da Temperatura que Induz Fissuração no Concreto Massa
Preventive Measurements to Control the Temperature Which Produces Cracking in Mass Concrete
GEORGE INOUE

- BT 08/87 - O Computador e o Projeto do Edifício
The Computer and the Building Design
FRANCISCO F. CARDOSO
- BT 09/87 - Porosidade do Concreto
Concrete Porosity
VICENTE C. CAMPITELI
- BT 10/87 - Concretos Celulares Espumosos
Lightweight Concrete: Foam Concrete
OSWALDO A. R. FERREIRA
- BT 11/87 - Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria
Determinação das Vazões de Projeto
Building Cold Water Supply Systems - Design
Flowrates Determination
MOACYR E. A. DA GRAÇA
ORESTES M. GONÇALVES
- BT 12/87 - Estabilização de Solos com Cimentos Pozolânicos
Soil Stabilization with Pozzolanic Cements
ALEX KENYA ABIKO
- BT 13/87 - Vazões de Projeto em Sistemas Prediais de Distribuição de Água Fria - Modelo Probabilístico para Microcomputadores
Design Flowrates in Building Cold Water Supply System - Probabilistic Model for Microcomputers
MOACYR E. A. DA GRAÇA
ORESTES M. GONÇALVES
- BT 14/87 - Sistemas Prediais de Coleta em Esgotos Sanitários: Modelo Conceitual para Projeto
Building Drainage Systems: A Conceptual Approach for Design
MOACYR E. A. DA GRAÇA
ORESTES M. GONÇALVES
- BT 15/87 - Aplicação do Método de Simulação do Desempenho Térmico de Edificações
Application of Building Thermal Performance Method
VIRGINIA M. D. DE ARAÚJO
- BT 16/87 - A Representação do Problema de Planejamento do Espaço em Sistemas de Projeto Assistido por Computador
Space Planning Problem Representation on Computer Aided Design Systems
MARIA CRISTINA R. BELDERRAIN
DANTE F. V. GUELPA