

MOACYR EDUARDO ALVES DA GRAÇA  
Engenheiro Civil  
Mestre em Engenharia Urbana e de Construção Civil

EPUSP - 1974  
EPUSP - 1979



FORMULAÇÃO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DETERMINANTES  
DA NECESSIDADE DE VENTILAÇÃO SECUNDARIA EM SISTEMAS PREDIAIS DE  
COLETA DE ESGOTOS SANITARIOS.

Tese apresentada à Escola  
Politécnica da USP para  
obtenção do título de  
Doutor em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Romeu Landi  
Professor Titular do Departamento de Engenharia de  
Construção Civil da EPUSP.

São Paulo, 1985.

OK

Aos meus pais

A Maria Inês

A Marcella, Flávia e Patrícia

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de deixar registrados os nossos sinceros agradecimentos a todos aqueles que colaboraram na realização deste trabalho, e em especial,

Ao Prof. Dr. Francisco Romeu Landi, por seu estímulo, incentivo e por sua orientação dedicada.

Ao amigo Prof. Orestes M. Gonçalves, por suas contribuições através de opiniões de grande valia, nos auxiliando no desenvolvimento deste trabalho.

Ao aluno José Luiz Wey de Brito pelo trabalho indispensável de levantamento e tratamento de dados.

Aos alunos do Escritório Piloto da EPUSP, pelo auxílio no levantamento de dados de campo.

A Companhia Metropolitana de Habitação de São Paulo - COMAB-SP, que possibilitou a obtenção de dados de campo.

A Inalda I. L. P. Gonçalves, Mônica M. Fernandes e Telma Pacini, que trabalharam com afincos e dedicação na edição deste trabalho.

Ao amigo Guilherme G. de Almeida pela produção da parte gráfica deste trabalho.

A minha esposa pelo elevado grau de abnegação e despreendimento, durante o período em que estivemos ausentes do convívio familiar.

## RESUMO

Os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, no Brasil, não têm evoluído de maneira significativa e compatível com o aumento das necessidades de construção civil, inerentes a um país com dimensões continentais e com acentuado crescimento populacional.

Neste trabalho estudamos os diversos fatores intervenientes no comportamento dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, com vistas à simplificação dos sistemas de ventilação, considerando-se os requisitos de desempenho, a evolução, e os aspectos hidráulicos e pneumáticos que influenciam o desempenho de tais sistemas.

Apresentamos, também, a formulação de modelo para a avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária (colunas e ramais de ventilação).

A aplicação dos critérios de projeto, apresentados neste trabalho, em edifícios residenciais com cinco pavimentos, revelou que a utilização de sistema predial de coleta de esgotos sanitários, sem ventilação secundária, é uma alternativa tecnicamente viável, para este tipo de edificação. A comparação de custo entre os sistemas, usualmente utilizados e o sistema objeto deste trabalho, mostrou a possibilidade de obtenção de economia da ordem de 30 a 40%, através da eliminação das tubulações do sistema de ventilação secundária.

## SUMMARY

The Building Drainage Systems, in Brazil, have not had an adequate development during the last decades, as it should be expected for a country of continental area and high rates of populational growth.

In this work several factors, affecting the behavior of the Building Drainage Systems have been studied with a view towards the simplification of the Vent Systems. We have considered the performance requirements, the systems evolution and the hydraulics and pneumatics factors that influence the performance of such systems.

An evaluation model for the determinant conditions of the need of secondary vent systems is presented.

An application of the design criteria for a residential multistorey building with five floors, indicates that the use of Single Stack Systems is a viable alternative for this kind of building. The cost comparison between the Fully Ventilated Systems, as it is usually applied in Brazil, and the Single Stack Systems showed the possibility of cost reduction of about 30 to 40%.

# INDICE

ITEM N.	ASSUNTO	P
1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1 -	O homem, o abrigo e o meio ambiente.....	1
1.2 -	O homem e a habitação.....	3
1.3 -	O homem e o uso da água nos edifícios.....	8
1.4 -	As instalações sanitárias prediais.....	13
2.	COLOCAÇÃO GERAL DO PROBLEMA.....	16
3.	OBJETIVOS.....	20
4.	REQUISITOS DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS SANITARIOS PREDIAIS.	23
4.1 -	Conceito de enfoque sistêmico.....	23
4.2 -	Conceito de desempenho.....	27
4.3 -	As exigências e atividades dos usuários e as condições de exposição dos sistemas sanitários prediais.....	31
4.4 -	Requisitos de desempenho dos sistemas sanitários prediais.....	39
4.4.1 -	Requisitos de desempenho relacionados com a utilização.....	39
4.4.2 -	Requisitos de desempenho relacionados com as condições de exposição.....	44
4.5 -	Desempenho dos sistemas de coleta de esgotos sanitários.....	48

5.	SISTEMAS PREDIAIS DE COLETA DOS ESGOTOS SANITARIOS.....	56
5.1 -	O retorno de odores e os primeiros sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários.....	56
5.2 -	Sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários..	64
5.2.1 -	Sistema de quedas separadas.....	64
5.2.2 -	Sistema de quedas separadas com ventilação das bacias sanitárias.....	66
5.2.3 -	Sistema de quedas separadas totalmente ventilado....	67
5.2.4 -	Sistema de quedas separadas por tipo de aparelho sanitário.....	69
5.2.5 -	Sistema de queda única totalmente ventilado.....	70
5.2.6 -	Sistema de queda única.....	72
5.2.7 -	Sistemas de queda única modificados.....	75
5.2.8 -	Sistema de queda única com dispositivos de aeração e deaeração.....	79
5.2.9 -	Sistema Gústavsberg.....	83
5.3 -	Sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários usuais no Brasil.....	87
6.	ESTUDO DAS AÇÕES A QUE ESTÃO SUJEITOS OS FECHOS HIDRICOS.	91
6.1 -	Ações a que estão sujeitos os fechos hídricos.....	92
6.2 -	Ações sobre os fechos hídricos, independentes da ocorrência de escoamento de água.....	93
6.2.1 -	Variações da pressão do ambiente.....	94
6.2.2 -	Capilaridade.....	97
6.2.3 -	Difusão de gases na água.....	98
6.2.4 -	Tiragem térmica e ação de vento .....	100
6.2.5 -	Congelamento.....	112
6.2.6 -	Evaporação.....	112

6.3 -	Ações sobre os fechos hidricos, dependentes da ocorrência de escoamento de água.....	118
6.3.1 -	Auto-sifonagem.....	119
6.3.2 -	Sifonagem induzida e sobrepressão.....	151
6.4 -	Resistência dos fechos hidricos com relação às variações de pressão no interior dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.....	167
7.	ESTUDO DO ESCOAMENTO NAS TUBULAÇÕES DOS SISTEMAS PREDIAIS DE COLETA DE ESGOTOS SANITARIOS.....	195
7.1 -	Vazões dos aparelhos sanitários .....	196
7.2 -	Simultaneidade de utilização de aparelhos sanitários.....	223
7.3 -	Ramais de descarga e ramais de esgoto.....	245
7.4 -	Tubos de queda.....	253
7.5 -	Subcoletores e coletores.....	267
7.6 -	Variações das pressões pneumáticas - Depressões e Sobrepressões.....	278
8.	MODELO PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DETERMINANTES DA NECESSIDADE DE VENTILAÇÃO SECUNDARIA EM SISTEMAS PREDIAIS DE COLETA DE ESGOTOS SANITARIOS.....	291
8.1 -	Conceituação do modelo.....	291
8.2 -	Desenvolvimento do modelo.....	294
8.3 -	Aplicação do modelo a edifício residencial com cinco pavimentos.....	303
9.	COMENTARIOS E CONCLUSOES.....	332
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	336



## NOMENCLATURA

- $a$  - aceleração do "plug" de água.
- $A_s$  - área da secção transversal do sifão.
- $A_1$  - área da secção transversal da câmara de entrada.
- $A_2$  - área da secção transversal da câmara de saída.
- $C_e$  - coeficiente de evaporação.
- $C$  - coeficiente que interrelaciona  $v^2$  e  $h$ .
- $C_d$  - coeficiente de descarga do orifício.
- $C_g$  - concentração de gases no interior de tubulações do sistema de esgotos sanitários.
- $C_g^I$  - concentração de gases no interior das tubulações do sistema de esgotos sanitários após o intervalo de tempo  $t_g^I$ , estando o sistema com concentração  $C_g^II$  no instante  $t_g^I = 0$ . (não havendo produção de gases).
- $C_g^II$  - concentração de gases no instante  $t_g^I = 0$ .
- $C_{n,r}$  - combinação de  $n$ ,  $r$  a  $r$ .
- $C(n_1, r_1)$  - combinação de  $n_1, r_1$  a  $r_1, \dots$
- $C_s$  - constante menor do que 0,5 relativa ao volume ocupado por ar durante o processo de sifonagem.
- $d_s$  - diâmetro do subcoletor ou coletor.
- $d_r$  - diâmetro do ramal de descarga.
- $d_s$  - diâmetro do sifão.
- $d_{tq}$  - diâmetro do tubo de queda.
- $d_o$  - diâmetro do orifício do aparelho sanitário.
- $d_o$  - diâmetro do orifício de descarga do aparelho sanitário.
- $d_2$  - diâmetro do ramal de descarga (ver figura 26).

- fluxo de água no tubo de queda.
- $h_{eq}$  - altura do tubo de queda.
- $H_R$  - altura hídrica residual.
- $H_0$  - altura hídrica inicial do fecho hídrico.
- $i_e$  - intensidade de evaporação.
- $i_r$  - índice de renovação do ar no interior do sistema.
- $I$  - declividade do ramal de descarga.
- $I$  - declividade do subcoletor ou coletor.
- $j$  - número de grandezas fundamentais; análise dimensional.
- $k$  - coeficiente de perda de carga no ramal de descarga.
- $k$  - coeficiente de pressão dinâmica do terminal do tubo de queda.
- $k_e$  - altura média (rugosidade).
- $k_{e1}$  - coeficiente de descarga modificado, característico do conjunto orifício de saída do aparelho sanitário e sifão para determinação da vazão  $Q_{e1}$ .
- $k_{e2}$  - coeficiente de descarga modificado, característico do conjunto orifício de saída do aparelho sanitário e sifão, para a determinação da vazão  $Q_{e2}$ .
- $k_e$  - coeficiente de perda de pressão da entrada de ar no tubo de queda.
- $k_e$  - coeficiente da expressão para o cálculo da velocidade terminal.
- $k_{eq}$  - coeficiente experimental para o cálculo da capacidade dos tubos de queda.
- $k_1$  - coeficiente de perda de pressão do ramal 1.
- $k_2$  - coeficiente de perda de pressão do ramal 2.

- $e$  - espessura da coroa circular do escoamento anular no tubo de queda.
- $e_1$  - espessura da coroa circular no trecho do tubo de queda entre o ramal 1 e o ramal 2.
- $e_2$  - espessura da coroa circular no trecho do tubo de queda entre o ramal 2 e o ramal 3.
- $f$  - fator de resistência de escoamento.
- $f'$  - exprime dependência funcional.
- $f_c$  - fator de confiabilidade.
- $f_r$  - fator de correção da vazão de projeto do subcoletor ou coletor.
- $F$  - volume de descarga.
- $F_a$  - força de atrito desenvolvida junto às paredes do tubo de queda.
- $F_R$  - força resultante.
- $g$  - aceleração gravitacional.
- $h$  - diferença de nível entre o orifício do aparelho sanitário e o eixo do ramal de descarga no ponto de encontro deste com o tubo de queda.
- $h_c$  - diferença entre o nível de água no aparelho sanitário e o nível do orifício de saída do mesmo.
- $h_d$  - diferença entre o nível do orifício do aparelho sanitário e o eixo da secção de saída do sifão.
- $h_e$  - altura de água perdida no fecho hídrico, por evaporação.
- $h_{in}$  - altura de inércia.
- $h_1$  - diferença entre o nível da superfície da água no aparelho sanitário (lavatório) e o nível do ponto onde o

- $K_s$  - coeficiente de perda de carga localizada no sifão e dispositivos do conjunto.
- $K_{ta}$  - coeficiente de máxima perda de pressão de ar no tubo de queda.
- $K_1, K_2, K_3, K_4$  - coeficientes experimentais.
- $l_c$  - comprimento do subcoletor ou coletor.
- $l_r$  - comprimento do ramal de descarga.
- $l_a$  - comprimento da parte seca do tubo de queda.
- $l_2$  - comprimento do ramal de descarga.
- $L_a$  - distância do tubo de queda até o ponto onde a velocidade do sólido é  $v_s$ .
- $L_s$  - comprimento desenvolvido do eixo da coluna hídrica armazenada no sifão.
- $L_t$  - comprimento terminal.
- $m$  - número de aparelhos sanitários que devem ser considerados em uso simultâneo.
- $m$  - coeficiente de descarga
- $m_1$  - número de aparelhos sanitários do tipo 1 que devem ser considerados em uso simultâneo.
- $m_v$  - massa de água no ar ambiente.
- $n$  - coeficiente que representa a rugosidade da tubulação (fórmula de Manning).
- $n$  - número de aparelhos sanitários em um conjunto.
- $n_a$  - número de curvas na parte seca do tubo de queda.
- $n_1$  - número de aparelhos do tipo 1.
- $p$  - probabilidade de que um dado aparelho esteja em funcionamento.

- $p$  - pressão a que está sujeito o ar ambiente.  
 $p_a$  - pressão atmosférica.  
 $p_i$  - probabilidade de ocorrência da vazão  $q_i$ .  
 $p_1$  - probabilidade de que um aparelho do tipo 1 esteja em funcionamento.  
 $p_{o,r}$  - probabilidade de que  $r$  aparelhos de um conjunto de  $n$  aparelhos estejam em uso simultaneamente.  
 $p(n_1, r_1)$  - probabilidade de que  $r_1$  aparelhos do tipo 1 de um conjunto de  $n_1$  aparelhos estejam em uso simultaneamente.  
 $p_w$  - perda de altura hídrica ocasionada pela ação de "bombeamento" de ar no fim do escoamento.  
 $p_v$  - pressão do vapor de água do ar ambiente.  
 $p_1, p_2$  - pressões nos pontos 1 e 2 (Equação de Bernoulli).  
 $P$  - peso da massa de água que provoca movimento.  
 $P_w$  - peso da massa de água da coroa circular.  
 $q$  - vazão do aparelho sanitário.  
 $q_e$  - vazão de projeto do subcoletor ou coletor.  
 $q_i$  -  $i$ -ésimo valor possível para a vazão de cada acomodação sanitária considerada.  
 $q_1$  - vazão unitária de um aparelho sanitário.  
 $q_p$  - vazão de projeto do trecho considerado.  
 $Q_a$  - vazão do ponto de utilização de água fria.  
 $Q_e$  - vazão de entrada no subcoletor ou coletor.  
 $Q_{e,j}$  - vazão a jusante do subcoletor ou coletor.  
 $Q_{e,m}$  - vazão a montante do subcoletor ou coletor.  
 $Q_{cap}$  - capacidade do subcoletor ou coletor em regime não permanente.

- $Q_{cp}$  - capacidade do subcoletor ou coletor em regime permanente.
- $Q_w$  - vazão de contribuição do aparelho ao sistema de esgotos sanitários.
- $Q_{w1}$  - vazão característica de acúmulo de água na cuba do aparelho sanitário.
- $Q_{w1}$  - vazão de água no ramal 1.
- $Q_{w2}$  - vazão característica de extravasamento de água na cuba do aparelho sanitário.
- $Q_{w2}$  - vazão de água no ramal 2.
- $Q_g$  - vazão de gases produzida no sistema.
- $Q_1$  - vazão no ramal de descarga do aparelho sanitário (lavatório).
- $Q_{tg}$  - capacidade de escoamento do tubo de queda.
- $Q_{tv}$  - vazão de ar devida à  $\Delta p_{ev}$ .
- $r$  - número de aparelhos em uso simultâneo.
- $r$  - número de variáveis dimensionais intervenientes - análise dimensional.
- $r_1$  - número de aparelhos do tipo 1 em uso simultâneo.
- $r_w$  - ganho de altura hídrica ocasionado pelo retorno de água, no fim do escoamento.
- $r_{we}$  - relação entre os volumes da câmara de saída e da câmara de entrada do sifão.
- $R$  - constante do ar ambiente.
- $R_H$  - raio hidráulico.
- $R_H$  - raio hidráulico do ramal de descarga.
- $R_v$  - constante do vapor de água.
- $t$  - duração média da descarga do aparelho.

- $t$  - intervalo de tempo decorrido desde o início da ocorrência do diferencial de pressão até o instante considerado.
- $t_e$  - duração do escoamento.
- $t_0$  - intervalo de tempo decorrido entre o início da produção de gases até o instante que apresenta concentração  $C_0$ .
- $t_0^1$  - intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o sistema estava com concentração  $C_0''$  e o instante em que a concentração será  $C_0^1$ .
- $t_1$  - duração média da descarga do aparelho do tipo 1.
- $t_{sa}$  - período de tempo decorrido até a perda hídrica quando da ocorrência de sobrepressão.
- $t_{sa}$  - taxa de perda hídrica adicional devido à sifonagem induzida.
- $T$  - temperatura do ar.
- $T$  - temperatura de bulbo seco.
- $T$  - intervalo de tempo médio entre duas descargas consecutivas, do aparelho considerado.
- $T_a$  - temperatura do ar exterior.
- $T_i$  - temperatura do ar no interior do tubo de queda.
- $T_1$  - intervalo de tempo médio entre duas descargas consecutivas do aparelho do tipo 1.
- $T_{os}$  - período de oscilação da coluna hídrica.
- $T_0$  - temperatura do ar a  $0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}$ .
- $v$  - velocidade no início da formação do plug de água.
- $v_{es}$  - velocidade do vento exterior.
- $v_{sa}$  - velocidade do sólido na distância  $L_s$ .
- $v_a$  - velocidade do ar na parte seca do tubo de queda.

- $v_t$  - velocidade terminal.
- $v_1, v_2$  - velocidades nos pontos 1 e 2 (Equação de Bernoulli).
- $v_1$  - velocidade do ar no trecho do tubo de queda entre o ramal 1 e o ramal 2.
- $V$  - volume do ar ambiente que contém a massa  $m_a$ .
- $V_{co}$  - volume da câmara inferior do sifão.
- $V_{e1}$  - volume da câmara de entrada do sifão.
- $V_{e2}$  - volume da câmara de saída do sifão.
- $V_a$  - volume de ar contido nas tubulações do sistema de esgotos sanitários.
- $x$  - distância entre o sifão e o "plug" de água.
- $x_1$  - número de acomodações sanitárias com vazão  $q_1$ .
- $y$  - umidade relativa do ar.
- $z$  - distância entre o fecho hidráulico e o ponto onde ocorre o deslocamento do "plug" de água da parede do ramal.
- $z$  - posição da superfície da água, na câmara de entrada, com relação à posição de equilíbrio, após o tempo  $t$  do início da ocorrência de oscilação.
- $z_1$  - posição da superfície da água na câmara de entrada com relação à posição de equilíbrio.
- $z_2$  - posição da superfície da água na câmara de saída, com relação à posição de equilíbrio.
- $Z$  - posição inicial da superfície da água da câmara de entrada, com relação à posição de equilíbrio.
- $\alpha \beta$  - coeficiente da expressão que correlaciona  $m$  e  $h_c/d_o$ .
- $\gamma$  - peso específico da água.
- $\Delta h_{1,2}$  - perda de carga entre os pontos 1 e 2 (Equação de



Bernoulli).

- $\Delta p$  - diferencial de pressão devido à ocorrência do fenômeno de sifonagem induzida ou sobrepressão.
- $\Delta p_{in}$  - perda de pressão de ar que ocorre na entrada do tubo de queda.
- $\Delta p_m$  - amplitude máxima do diferencial de pressão.
- $\Delta p_{max}$  - depressão máxima que ocorre no tubo de queda.
- $\Delta p_r$  - perda de pressão de ar que ocorre devido ao bloqueio parcial do tubo de queda provocado pelas descargas dos ramais.
- $\Delta p_{r1}$  - perda de pressão de ar no ramal 1.
- $\Delta p_{r2}$  - perda de pressão de ar no ramal 2.
- $\Delta p_s$  - perda de pressão de ar que ocorre na parte seca do tubo de queda.
- $\Delta p_{so}$  - diferencial de pressão, devido à sobrepressão.
- $\Delta p_{si}$  - diferencial de pressão, devido à sifonagem induzida.
- $\Delta p_t$  - diferença de pressão que provoca a tiragem térmica.
- $\Delta p_{tv}$  - diferença de pressão no topo do tubo de queda devida à ação simultânea da tiragem térmica e do vento exterior.
- $\Delta p_v$  - diferença de pressão no topo do tubo de queda devida à ação do vento.
- $\Delta t_e$  - duração de exposição à evaporação do fecho hidráulico.
- $\Delta H$  - perda de altura hidráulica do fecho hidráulico.
- $\Delta L$  - desnível entre o nível de água da câmara de entrada e o da câmara de saída durante a ocorrência do fenômeno de sifonagem induzida ou sobrepressão.
- $\Delta T$  - diferença de temperatura entre o ar do interior do tubo de queda e do ar exterior,  $\Delta T = T_e - T_i$ .

- $\Delta V$  - volume de água perdido devido à ocorrência de sobrepressão.
- $\Delta V_c$  - volume de água perdido no sifão, devido à uma depressão  $p_{-1}$ .
- $\Delta \rho$  - diferença de massa específica entre o ar do exterior e do interior do tubo de queda,  $\Delta \rho = \rho_e - \rho_i$ .
- $\epsilon$  - fator de falha do sistema.
- $\theta$  - ângulo de inclinação do ramal de descarga.
- $\lambda$  - fator de resistência para fluxo turbulento.
- $\mu_1$  - número médio de aparelhos sanitários do tipo 1 em uso simultâneo.
- $\xi$  - coeficiente de perda de carga do conjunto orifício de saída e do sifão.
- $\xi_r$  - coeficiente de perda da carga do ramal de descarga.
- $\pi$  - pressão de vapor de água do ar saturado, na temperatura ambiente.
- $\pi_i$  - variável adimensional combinada  $i$  - análise dimensional.
- $\rho$  - massa específica.
- $\rho_{ar}$  - massa específica do ar.
- $\rho_e$  - massa específica do ar no exterior.
- $\rho_i$  - massa específica do ar no interior do tubo de queda
- $\rho_0$  - massa específica do ar a 0°C ou 273°K.
- $\sigma_1$  - desvio padrão do n. de aparelhos sanitários do tipo 1.
- $\phi$  - função geral de inter-relacionamento - análise dimensional.
- $\omega$  - frequência angular do diferencial de pressão.
- $\omega_0$  - frequência angular natural da coluna hídrica do sifão.

## NOMENCLATURA DO MODELO

- $\Delta H_{a,i}$  - perda de altura hídrica admissível para o sifão i.
- $\Delta H_{r,i}$  - perda de altura hídrica resultante das ações sobre o sifão i.
- $H_{0,i}$  - altura hídrica inicial do fecho hídrico do sifão i.
- $h_{e,i}$  - altura de água perdida no fecho hídrico do sifão i.
- $i_{e,i}$  - intensidade de evaporação do sifão i.
- $C_{e,i}$  - coeficiente de evaporação do sifão i.
- $\Delta t_e$  - duração máxima de exposição à evaporação dos fechos hídricos instalados no ambiente.
- $\pi$  - pressão de vapor de água do ar saturado na temperatura ambiente.
- $\gamma$  - umidade relativa do ar ambiente.
- $\Delta p_{a,dp,i}$  - depressão máxima admissível no sifão i.
- $r_{a,e,i}$  - relação entre os volumes da câmara de saída e da câmara de entrada do sifão i.
- $\Delta H_{a,i,1}$  - perda máxima de altura hídrica devido à depressão do do sifão i.
- $\Delta p_{a,sp,i}$  - sobrepressão máxima admissível no sifão i.
- $\Delta p_{a,dp}$  - depressão máxima admissível no sistema.
- $\Delta p_{a,sp}$  - sobrepressão máxima admissível no sistema.
- $\Delta H_{r,max,i}$  - perda de altura hídrica resultante máxima do sifão tipo i, por auto-sifonagem.
- $\Delta H_{r,max,i,m}$  - perda de altura hídrica resultante do sifão tipo i, na montagem m, por auto-sifonagem.

- $\Delta Pr_{sp}$  - depressão máxima resultante dos efeitos de sifonagem induzida, de tiragem térmica e ação do vento e das variações da pressão ambiental.
- $\Delta Pr_{si}$  - depressão máxima resultante do efeito de sifonagem induzida.
- $\Delta Pr_{tv}$  - depressão máxima resultante do efeito de tiragem térmica e ação do vento.
- $\Delta Pr_{amb}$  - depressão máxima resultante do efeito das variações da pressão ambiental.
- $\Delta Pr_{sp}$  - sobrepressão máxima resultante dos efeitos de sobrepressão ambiental.
- $\Delta Pr_{sb}$  - sobrepressão máxima resultante dos efeitos de sobrepressão no sistema.

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA N.	TITULO	P
1	Instalações sanitárias prediais .....	15
2	Sifão de uma instalação predial de esgotos sanitários .....	49
3	Instalação predial de esgotos sanitários típica - Inglaterra 1881 .....	62
4	Instalação predial de esgotos sanitários recomendada por Dr. Teale - Inglaterra 1891.....	63
5	Sistema de quedas separadas .....	65
6	Sistema de quedas separadas com ventilação das bacias sanitárias .....	67
7	Sistema de quedas separadas totalmente ventilado .	68
8	Sistema de quedas separadas por tipo de aparelho sanitário .....	70
9	Sistema de queda única totalmente ventilado .....	71
10	Sistema de queda única .....	73
11	Sistema de queda única modificado, com ventilação das bacias sanitárias .....	76
12	Sistema de queda única modificado, com ventilação do tubo de queda .....	77
13	Sistema de queda única modificado, com ventilação complementar de ramais longos .....	79
14	Sistema de queda única com dispositivos de aeração e deaeração .....	81
15	Aerador e deaerador - esquemas .....	82

16	Sistema Gustavsberg - bacia sanitária e sifão coletor .....	85
17	Sistema Gustavsberg - esquema geral .....	86
18	Sistema de queda única totalmente ventilado utilizado no Brasil .....	88
19	Sifões individuais e caixa sifonada .....	89
20	Efeitos das variações de pressão nos ambientes sanitários segundo a natureza das ações .....	96
21	Perda do fecho hidrico por ação de capilaridade ..	97
22	Tiragem térmica em tubos de queda .....	102
23	Efeito do vento em terminais de tubos de queda ...	104
24	Terminais de tubos de queda .....	105
25	Auto-sifonagem - caracterização do fenômeno .....	122
26	Montagem para teste de auto-sifonagem utilizada por French e Eaton.....	124
27	Auto-sifonagem - Formação de bolsas de ar no escoamento.....	127
28	Movimento do "plug" de água que escoam ao longo de um ramal de descarga, segundo Wise.....	137
29	Sifões especiais, com recuperação da altura hidrica.....	150
30	Sifonagem induzida e sobrepressão - caracterização dos fenômenos.....	153
31	Ação de sifonagem induzida e sobrepressão em sifões tipo P.....	155
32	Sobrepressão - oscilação da coluna hidrica.....	160
33	Sifão com câmaras de volumes diferentes.....	169

34	Sifão com câmaras de volumes diferentes sujeito à sobrepressão.....	180
35	Utilização de aparelho sanitário - regime permanente.....	198
36	Tipos de escoamento em aparelhos sanitários.....	205
37	Fases de escoamento em aparelhos sanitários.....	211
38	Escoamento em tubos de queda parcialmente cheios..	257
39	Forças atuantes no escoamento em um tubo de queda.	258
40	Transição do escoamento na direção vertical (tubo de queda) para escoamento na direção horizontal (sub-coletor).....	269
41	Condições de transição na base de tubo de queda...	271
42	Velocidade de transporte de sólido ao longo de um sub-coletor.....	276
43	Diagrama de pressões pneumáticas em tubo de queda.	281
44	Detalhe de instalação de coleta de esgotos sanitários sem ventilação secundária, do edifício objeto do estudo.....	305
45	Painel utilizado para a verificação dos coeficientes de evaporação de diversos tipos de sifões.....	307
46	Detalhe de instalação de coleta de esgotos com sistema de ventilação secundária.....	329

# LISTA DE TABELAS

TABELA N.	TITULO	P
1	Exigências do usuário segundo norma ISD/DP6241....	6
2	Classificação dos subsistemas do edifício segundo norma ISD/DP6241.....	7
3	Variação da massa específica do ar com a temperatura.....	101
4	Valores da pressão do vapor de água do ar saturado em função da temperatura ambiente.....	116
5	Comprimento máximo do ramal de descarga, sem ventilação, segundo Hunter.....	120
6	Valores limites de p - função de distribuição de probabilidades binomial.....	227
7	Intervalo de vazões e probabilidades acumuladas - função de distribuição de probabilidades multinomial.....	230
8	Valores do fator de confiabilidade - $f_c$ .....	235
9	Valores dos parâmetros para o cálculo de vazões de projeto.....	237
10	Número de aparelhos sanitários em uso simultâneo ( $m_1$ ) em função do número de aparelhos instalados ( $n_1$ ) para diversos tipos de aparelhos ( $\epsilon = 0,01$ )..	238
11	Valores de probabilidades de ocorrência das vazões passíveis de se estabelecer em um ramal de esgoto predial.....	241



12	Valores de probabilidades de ocorrência das vazões passíveis de se estabelecer em um tubo de queda de edifício residencial de 5 pavimentos.....	242
13	Capacidades de tubulações horizontais à seção plena, em l/s - fórmula de Manning ( $n = 0,012$ )....	249
14	Valores de capacidade de tubos de queda, segundo Hunter.....	255
15	Características dos sifões utilizados para a verificação dos coeficientes de evaporação.....	309
16	Valores de perda de altura hídrica semanais por evaporação.....	310
17	Valores médios semanais de temperatura e umidade relativa do ar.....	311
18	Coeficientes de evaporação dos sifões estudados...	312
19	Valores máximos de perda de altura hídrica (em mm) dos diversos sifões para as configurações de descarga utilizadas.....	326
20	Lista dos materiais necessários para instalação do sistema sem ventilação secundária (excluído o tubo de queda).....	330
21	Lista dos materiais necessários para instalação de sistema com ventilação secundária (excluído o tubo de queda).....	331

# LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO N.	TITULO	P
1	Curva característica de descarga de uma banheira, segundo French e Eaton.....	125
2	Resultados de ensaios de auto-sifonagem em lavatórios, segundo French e Eaton.....	130
3	Curvas para cálculo do comprimento máximo de ramais de descarga com entrada no tubo de queda em junção 45°. Segundo French e Eaton.....	131
4	Curvas para cálculo do comprimento máximo de ramais de descarga com entrada no tubo de queda em tê sanitário. Segundo French e Eaton.....	131
5	Perda de altura hídrica devido à auto-sifonagem, segundo Wise.....	135
6	Inclinação do ramal de descarga e respectivo comprimento máximo até o tubo de queda, segundo Wise.....	148
7	Curvas $f_1(L_2) \times f_2(T_w^2)$ , segundo Schlag e van Peeterssen.....	157
8	Perda de altura hídrica $\Delta H$ em função da depressão $\Delta p_{w1}$ para sifões com câmaras desiguais - análise estática.....	173
9	Perda de altura hídrica em função da depressão $\Delta p_{w1}$ - curva teórica, e curva experimental - análise estática.....	174

10	Altura hídrica residual $H_R$ em função da depressão $\Delta p_{-1}$ para sifões com câmaras desiguais - análise estática.....	175
11	Altura hídrica residual $H_R$ em função da depressão $\Delta p_{-1}$ , para sifões belgas, segundo C.S.T.C. - análise estática.....	176
12	Sobrepressão - valores de altura hídrica ( $H_R$ ) mínima em função da relação entre os volumes das câmaras do sifão.....	190
13	Restrições de magnitude de sobrepressões em função da relação entre os volumes das câmaras do sifão.....	191
14	Comportamento das vazões de contribuição ao sistema de esgotos ( $Q_e$ ) em função das vazões de alimentação de água fria ( $Q_a$ ).....	202
15	Curva cota ( $h_c$ ) - vazão ( $Q_e$ ) de uma instalação de lavatório.....	218
16	Capacidades máximas de ramais em função da vazão no tubo de queda.....	266
17	$i_e \times \pi (1 - y)$ - caixas sifonadas.....	313
18	$i_e \times \pi (1 - y)$ - sifões tipo "garrafa" e "P"....	314
19	$i_e \times \pi (1 - y)$ - sifões tipo "S".....	315
20	$i_e \times \pi (1 - y)$ - tubos curtos.....	316
21	$i_e \times \pi (1 - y)$ - tubo longo e médio.....	317

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 O Homem, o abrigo e o meio ambiente

O apego obstinado à vida, que tem o homem, talvez tenha sido a mola propulsora do progresso e de todo o desenvolvimento da humanidade.

O instinto de preservação do ser e da família, conduziu-o, naturalmente, a perseverar na luta contra as dificuldades que lhe são impostas pela natureza e pelos próprios homens. Decorrentes deste instinto surgem, talvez, as manifestações mais marcantes de defesa do homem, a medicina e a arquitetura. A primeira no sentido de procurar evitar as doenças e a segunda no sentido de propiciar o adequado abrigo das intempéries. Conseqüentemente, a coordenação do conhecimento do comportamento dos elementos naturais tem sido a tônica da cultura humana ao longo dos tempos. Assim, desvendar os "mistérios" dos microorganismos vivos, da atmosfera, da água, do campo electromagnético, das radiações solares, do solo, do som, etc., tem sido o desafio maior enfrentado pela humanidade desde os seus tempos primeiros. Surgem então os diversos ramos da ciência como forma organizada de desenvolvimento e transmissão de conhecimentos. Isto tem possibilitado um crescente aumento de velocidade na busca de melhores condições de vida. Não podemos deixar de ressaltar que existem efeitos imprevistos e conseqüências negativas ao longo de todo este processo, resultando em sérios prejuízos ao próprio homem e à natureza.

Influências bastante acentuadas são, também, exercidas por fatores morais, políticos, religiosos e sociais, sobre a forma, o mérito, o resultado e as consequências do desenvolvimento de ciência e tecnologia na busca de soluções para melhoria da qualidade de vida dos indivíduos.

É nitido, aos olhos de quem quer que seja, que, apesar dos espinhosos caminhos percorridos pelo homem ao longo dos tempos, criou-se condições tecnológicas que podem propiciar às pessoas, uma qualidade de vida em nível bem superior do que se podia pretender há um século.

É fato, também, que as maiores barreiras a serem vencidas encontram-se, na capacidade organizacional, econômica, política e cultural das sociedades, a fim de se viabilizar o acesso a este bem estar físico, psicológico e social, a um número cada vez maior de indivíduos.

Assim, a busca de soluções que tragam em seu bojo, possibilidades reais de tornar menos doloroso este processo, serão sempre bem-vindas aos administradores sensatos.

É bastante clara a necessidade que temos, no Brasil, de acelerar o processo de melhoria do "habitat" de uma grande população, que cresce a cada dia que passa. Inúmeros têm sido os esforços nesse sentido, mas, entretanto, os resultados obtidos estão muito aquém do que seria desejável.

Consideramos, pois, de fundamental importância o ataque vigoroso ao problema, tanto a nível de desenvolvimento de pesquisas, como de viabilização prática. Somente com um esforço equilibrado, atuando nos dois sentidos, simultaneamente, poderemos melhorar e acelerar o processo de criação de um "habitat" adequado ao indivíduo e corretamente integrado ao meio ambiente. Agindo assim, teremos a certeza de estar contribuindo de forma efetiva para o desenvolvimento de uma sociedade que, sem dúvida nenhuma, é digna merecedora de um futuro mais próspero e de melhor qualidade de vida.

Um dos fatores que mais influenciam a qualidade de vida, é a maneira pela qual o homem se utiliza da água.

Não é escopo deste trabalho o estudo de outros fatores que, igualmente importantes, contribuem para a melhoria da qualidade de vida.

## 1.2 O homem e a habitação

Para que possamos avaliar as condições de adequação da habitação ao ser humano, há que se identificar quais os valores que lhes são mais significativos. Deve, portanto, o trabalho técnico de se promover a construção de uma moradia, ser consistente e coerente com as necessidades e expectativas dos usuários. Somente assim, podem ser obtidos resultados práticos positivos no que diz respeito à satisfação do usuário com relação à sua moradia.

E, portanto, função dos profissionais, cujo trabalho se relacione com a habitação, procurar levá-lo a termo, sem jamais perder de foco as reais necessidades dos usuários.

Assim, o conceito de necessidade do usuário com relação à moradia deve ser estabelecido, de forma inequívoca, ao se objetivar a construção de habitações que tenham por finalidade atender, da melhor maneira possível, os requisitos básicos para melhor desempenho das funções para as quais se destinam.

O estudo das exigências dos usuários com relação à habitação, bem como o estabelecimento do conceito de desempenho, a nível internacional, têm sido objeto de trabalho coordenado a partir de 1970, com a criação da comissão W60 - The Performance Concept in Building do CIB - International Council for Building Research Studies and Documentation [1]\*. Tem sido conduzido, também, desde 1979, trabalho de normalização internacional utilizando-se conceitos de desempenho. Tal esforço vem sendo levado a cabo pela comissão ISO/TC59 da ISO - International Organization for Standardization. [2], [3].

Verifica-se então, que somente a partir da década passada tem-se procurado compreender e trabalhar com os conceitos de desempenho e exigências dos usuários. Muito trabalho há ainda que ser feito, a fim de que sejam incorporados à prática diária de projeto e construção habitacional, os conceitos e as normas de desempenho.

---

\* - Números entre colchetes relacionam as referências bibliográficas listadas no final deste trabalho.

Podemos apresentar as exigências dos usuários com relação à habitação, conforme a norma ISO/DP6241 [3]. Estas exigências encontram-se na Tabela 1 a seguir.

Abordaremos neste trabalho, a definição e utilização do conceito de desempenho, a nível dos sistemas hidráulicos prediais. Souza [4] desenvolveu a questão a nível geral, e o leitor interessado poderá encontrar em [4] uma explanação abrangente sobre o tema.

Torna-se necessário explicitar, que as citadas exigências do usuário (Tabela 1) aplicam-se, não somente ao edifício como um todo, mas também aos seus subsistemas, elementos, componentes, produtos e materiais. Assim, quando conceituamos um edifício como sistema, devemos ter em mente a definição explícita de um sistema, como por exemplo, a dada por Churchman [5]:

"Sistema é um conjunto de partes coordenadas para realizar um conjunto de finalidades".

Portanto, quando tratamos de projeto ou construção de um edifício, em verdade, estamos trabalhando com o conceito de projeto ou construção de um sistema material, cuja finalidade precípua é o atendimento às exigências do usuário. Conseqüentemente, na definição de todas as partes constituintes do sistema edifício, há que se pautar os procedimentos necessários, através da contínua observância da adequação das partes às necessidades reais do usuário.



I			I
I			I
I	1. SEGURANÇA	. ESTRUTURAL	I
I		. CONTRA INCENDIOS	I
I		. QUANTO A UTILIZAÇÃO	I
I			I
I	2. CONFORTO	. VISUAL	I
I		. HIGROTÉRMICO	I
I		. ACÚSTICO	I
I		. TÁTIL	I
I		. ANTROPODINÂMICO	I
I			I
I	3. ESTANQUEIDADE		I
I			I
I	4. PUREZA DO AR		I
I			I
I	5. ADAPTABILIDADE AO USO		I
I			I
I	6. DURABILIDADE		I
I			I
I	7. HIGIENE		I
I			I
I	8. ECONOMIA		I
I			I
I			I

Tabela 1 - Exigências do usuário segundo norma ISO/DP6241.

Segundo conclusões da comissão de trabalho do CIB [1], a edificação é constituída de subsistemas inter-relacionados, classificados de acordo com suas funções. Temos então o seguinte grupo de subsistemas (Tabela 2).

Evidentemente, na concepção de cada subsistema, devemos considerar as múltiplas interações com os demais subsistemas, de maneira que o produto final apresente-se com a harmonia funcional desejada. Entendemos por harmonia funcional, a inter-relação entre os subsistemas, visando o adequado relacionamento Homem - Edifício - Meio Ambiente.

SUBSISTEMAS	
ESTRUTURA:	. FUNDAÇÕES . SUPERESTRUTURA
ENVOLTORIA EXTERNA:	. SOB NIVEL DO SOLO . SOBRE NIVEL DO SOLO
DIVISORES DE ESPAÇOS EXTERNOS:	. VERTICAIS . HORIZONTAIS . ESCADAS
DIVISORES DE ESPAÇOS INTERNOS:	. VERTICAIS . HORIZONTAIS . ESCADAS
SERVIÇOS:	. SUPRIMENTO E DISPOSIÇÃO DE AGUA . CONTROLE TERMICO E VENTILAÇÃO . SUPRIMENTO DE GAS . SUPRIMENTO DE ENERGIA ELETRICA . TELECOMUNICAÇÕES . TRANSPORTE MECANICO . TRANSPORTE PNEUMATICO E POR GRAVIDADE . SEGURANÇA E PROTEÇÃO

Tabela 2 - Classificação dos subsistemas do edifício segundo norma ISO/DP6241 (extraído de CIB - Publication 64 [1]).

Assim, quando procuramos estabelecer o programa de necessidades de um edifício, devemos procurar fazê-lo, considerando-se uma metodologia de abordagem, que mantenha preservada as exigências dos usuários ao longo de todo o processo de projeto, construção e

operação do edifício. Abordaremos, ao longo deste trabalho, aspectos relativos à necessidade de higiene, principalmente no que se refere ao uso da água nos edifícios.

### 1.3 O homem e o uso da água nos edifícios

A água, como um dos elementos fundamentais para o desenvolvimento da vida, tem sido objeto de preocupação da humanidade desde os seus tempos mais remotos. É notável, na história das civilizações, o progresso tecnológico na utilização racional da água, para as mais diversas finalidades.

Em 4000 AC, registra a história, o início da irrigação na Mesopotâmia [6]. Desde então, são inúmeros os eventos que marcaram a evolução do conhecimento do homem sobre a captação, o tratamento, o transporte, a distribuição e a utilização, propriamente dita, da água.

Tem sido, também, notada ao longo dos anos, a atenção voltada para a coleta e destinação das águas utilizadas. Atenção especial tem sido dada, nos últimos decênios, ao estudo de proteção do meio ambiente quanto à poluição dos mananciais.

Da mesma forma, é sentido um vigoroso esforço das instituições no aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos, através da busca de soluções econômicas e sociais com ênfase ao emprego racional da energia. Azevedo Neto [6], [7], [8], [9], Biswas [10] e Robins [11] têm registrado este desenvolvimento de forma precisa.

Os sistemas relacionados com o uso da água, especificamente em edificações e, particularmente, na habitação, têm sido utilizados pelo homem há dezenas de séculos. Exemplos marcantes são apresentados por Nielsen [12]. Trabalhos arqueológicos revelam que há cerca de 3500 AC, já existiam banheiros alimentados por tubulações de cobre em quartos de palácios egípcios. Foram encontrados também, na Ilha de Creta, em escavações realizadas em Knossos, vestígios da existência de sistemas prediais de água fria, água quente e esgotos domiciliares há cerca de 3000 anos.

Os principais esforços dirigiram-se na aplicação das técnicas, com a finalidade de suprir de água as edificações, bem como coletar os esgotos delas provenientes.

Atenção bem menor foi dada aos sistemas prediais propriamente ditos. É bastante razoável que isto tivesse acontecido, pois de nada adiantaria desenvolver os sistemas prediais sem a disponibilidade da água para o edifício.

Deste fato resultou o "atraso" do desenvolvimento das técnicas de projeto e construção de sistemas hidráulicos a nível da edificação. Segundo Nielsen [12], apenas a partir do início da década de 1920, após a 1ª. Guerra Mundial, verificou-se o início da organização da utilização da água no interior das edificações. Foram estabelecidos, nesta época, critérios para a implantação dos ambientes sanitários nos edifícios e dos aparelhos sanitários neles contidos. Até aquele momento, a utilização da água, e conseqüente destino, era feita de forma desordenada e

aleatória. Foi nessa época, que uma vez evidenciada a necessidade de um melhor conhecimento dos sistemas hidráulicos prediais, formou-se o "Subcommittee on Plumbing of the Building Code Committee" do "Bureau of Standards" do "United States Department of Commerce", nos Estados Unidos da América. Como resultado deste trabalho, foi publicado em 3 de julho de 1923 o relatório "Recommended Minimum Requirements for Plumbing in Dwellings and Similar Buildings" [13] que, mantidos os princípios básicos, mas com aplicação estendida a todos os tipos de edifícios, foi reeditado numa nova versão em 30 de agosto de 1928 como "Recommended Minimum Requirements for Plumbing" [14].

Estes trabalhos foram possíveis graças aos esforços de Roy B. Hunter, responsável pelo desenvolvimento dos conceitos emitidos nos mesmos.

Representam estes trabalhos os marcos iniciais da engenharia de instalações hidráulicas prediais. Muitos dos conceitos estabelecidos divulgaram-se para diversas partes do mundo, e têm sido até hoje utilizados. Na época em que foram realizados estes trabalhos, viviam os Estados Unidos, um acelerado processo de construção de edifícios de vários andares, nas partes centrais das cidades, onde o custo da terra tornava-se elevado.

Este processo atingiu seu ápice em 1929 quando ocorreu a séria recessão económica. Durante os anos da década de 1930 poucos edifícios foram construídos, havendo uma desaceleração dos processos de pesquisa na área das instalações prediais. Nesta

década, os esforços foram concentrados na adaptação dos edifícios anteriormente construídos, promovendo-se correções nos sistemas prediais, com ênfase no sistema de distribuição de água, procurando-se eliminar possíveis fontes de contaminação. A principal razão deste trabalho foi a ocorrência em 1933 de um surto epidêmico, em Chicago, de grandes proporções.

Somente a partir do pós-guerra de 1945 reativou-se o processo de construção que exigia, não só melhores condições técnicas dos sistemas prediais, mas a também, revisão e redimensionamento das redes públicas de abastecimento de água. Isto sucedeu na Europa e nos Estados Unidos simultaneamente. Surge então, a preocupação, nos vários países, de se procurar caracterizar adequadamente o comportamento dos sistemas hidráulicos prediais. Nesta época, os profissionais da área careciam de informações e estudos sistematicamente organizados.

Em 1972, como resultado desta necessidade, é formada a comissão W62 do CIB com o intuito de desenvolver de forma organizada, os conhecimentos relativos às instalações hidráulicas do edifício, a nível internacional.

O primeiro simpósio foi realizado no BRE (Building Research Establishment) em 19 e 20 de setembro de 1972 em Garston, Inglaterra. Era coordenador desta comissão (W62) A.F.E. Wise, pesquisador do BRE que vinha há tempos trabalhando na área. O tema do simpósio citado foi "Demanda de água em edifícios" [15]. Desde 1972 vem, a comissão W62, reunindo-se periodicamente,

trazendo efetivas contribuições ao desenvolvimento desta área da engenharia.

A. F. E. Wise [16], aponta que as pesquisas no campo das instalações para uso da água nas edificações têm sido insuficientes para as necessidades e benefícios econômicos que podem ser obtidos.

Cabe comentar, que apesar dos esforços nos últimos anos, não há, ainda, um arcabouço teórico e prático sobre as instalações hidráulicas do edifício, que permita a realização de sistemas realmente eficientes. Há ainda muito trabalho a ser feito.

Enfoquemos agora a situação do Brasil neste contexto.

Do exposto, pudemos verificar que somente a partir da década de 1970 começou a se intensificar a busca de uma sistemática de pesquisas tecnológicas, com a finalidade de se aprimorar conceitos e estabelecer novos padrões de projeto, que até então, baseavam-se fundamentalmente em princípios empíricos, altamente dependentes da experiência e julgamento subjetivo dos profissionais atuantes na área. Gonçalves [17], em 1978 apresentou trabalho, ressaltando este fato.

O acelerado processo de construção tem criado problemas numa proporção maior do que a capacidade de resolvê-los. Isto significa, que mantemos, no Brasil, um certo retardo tecnológico na absorção integral de conceitos e técnicas de projeto, conforme apontado por Landi [18].

Comprova-se este fato, através do reconhecimento de que a maioria significativa dos edifícios projetados até o fim da década de 1970, tinha seus sistemas concebidos sobre normalização prescritiva, do início da década de 1950, cujos conceitos retratavam o impulso tecnológico havido nas décadas de 1920 e 1930.

No início dos anos 1980 sofreram revisões, algumas normas brasileiras atinentes ao assunto em tela. Entretanto, dada a inércia natural na absorção de novos conhecimentos e a falta de pesquisa nacional, que realmente pudesse assegurar a confiabilidade das novas técnicas em bases científicas, obteve-se novos textos normativos que diferiam dos então vigentes, apenas em forma, e muito pouco em conteúdo.

Finalmente as relações entre o homem e o uso da água nos edifícios carecem de maior atenção das autoridades competentes, a fim de que possamos reduzir o diferencial tecnológico existente entre as técnicas aqui utilizadas e a prática corrente nos países desenvolvidos.

#### 1.4 As instalações sanitárias prediais

Entendemos que, para propiciar ao indivíduo um grau mínimo de qualidade de vida, devem as edificações ser providas de subsistemas que permitam o uso adequado da água.



Compreendemos que, para podermos conceber, projetar, construir e manter tais sistemas, necessitamos de um conhecimento adequado, relativo às exigências dos usuários, conforme apresentado em 1.2.

Entendemos, também, que para podermos conceber, projetar, construir e manter tais sistemas, necessitamos de conhecimentos tecnológicos adequados. Tais conhecimentos devem permitir a viabilização destes sistemas de forma a garantir o atendimento das exigências dos usuários. Um panorama geral sobre o avanço de tais técnicas, foi apresentado em 1.3.

Assim, procuraremos, ao longo deste trabalho, estudar as instalações sanitárias prediais sob o prisma de adequação das técnicas mais recentes de concepção e projeto destes sistemas, às exigências dos usuários.

As instalações sanitárias prediais, incluem-se no subsistema serviços (ver Tabela 2) e tem por finalidade, segundo Rosrud [19]:

- prover água nos locais de uso;
- prover a possibilidade de uso da água;
- destinar a água utilizada acompanhada de resíduos introduzidos pela utilização.

Assim, as instalações sanitárias prediais podem ser decompostas em três outros subsistemas inter-relacionados, segundo as finalidades apontadas.

Desta forma temos:

- sistema de suprimento de água  
(instalações prediais de água);
- sistema de equipamento sanitário;
- sistema de coleta de esgotos sanitários  
(instalações prediais de esgotos sanitários);

A figura a seguir (figura - 1) ilustra o exposto.

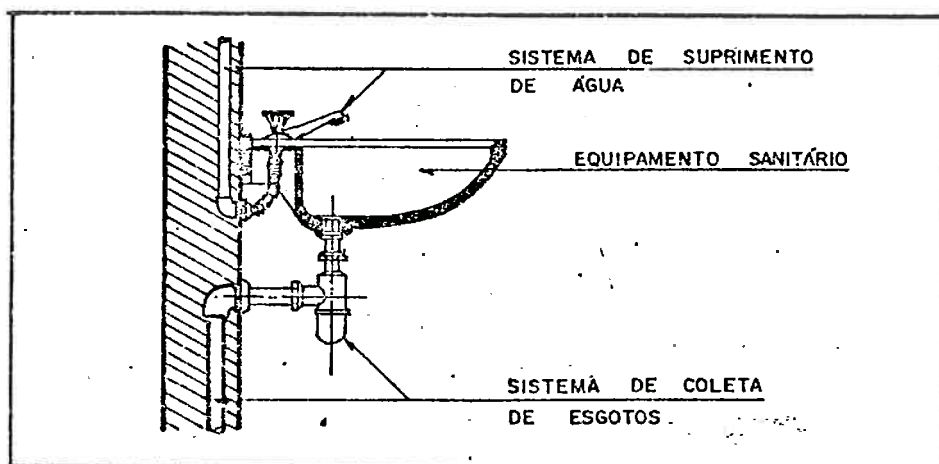


Figura 1- Instalações sanitárias prediais.

Neste trabalho, abordaremos, aspectos relativos à concepção e dimensionamento dos elementos constituintes do sistema de coleta de esgotos sanitários.

Passemos então à conceituação geral do problema, que, como já foi dito, enfocará, apenas, os sistemas de coleta de esgotos sanitários prediais.

## 2. COLOCAÇÃO GERAL DO PROBLEMA

As instalações sanitárias prediais, no Brasil, não têm evoluído nas últimas décadas, de maneira significativa e compatível com o aumento da necessidade de construção civil habitacional, inerentes a um país com dimensões continentais e com acentuado crescimento populacional.

O contato diário com a problemática que envolve a área das instalações prediais permitiu-nos verificar, de maneira bastante próxima, a situação de desenvolvimento em que se encontram, atualmente, as técnicas utilizadas em projetos e construções de sistemas de instalações sanitárias prediais. Em particular, evidencia-se o caráter empírico com o qual são abordados os assuntos relativos aos sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários.

Este fato pode ser sentido nos mais diversos segmentos de atuação tecnológica, desde a proposição de normalização técnica sobre o assunto até a colocação dos sistemas em operação.

Como consequência desta situação, temos observado que os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários vêm sendo concebidos e dimensionados, ainda hoje, através dos princípios e procedimentos estabelecidos na primeira metade deste século. A partir desta constatação procuramos verificar o estágio atual de desenvolvimento das técnicas de projeto dos sistemas em tela, em diversos países, o que nos revelou a possibilidade da introdução

de significativas melhorias na concepção e dimensionamento destes sistemas, no Brasil.

Motivados por esta possibilidade, procuramos estudar o assunto, visando o estabelecimento de conceitos e critérios de projeto, que permitissem a introdução de técnicas mais adequadas, objetivando a redução de custos destes sistemas e assegurando o atendimento aos requisitos de desempenho dos mesmos.

Os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, são constituídos por dois subsistemas com distintas funções:

- sistema de coleta dos efluentes dos aparelhos sanitários: este sistema tem por finalidade captar os efluentes dos diversos aparelhos sanitários e conduzi-los a destino adequado.
- sistema de ventilação: este sistema tem por finalidade principal, garantir a proteção dos bloqueios hidricos (fechos hidricos), contra a passagem de gases do interior do sistema de coleta para o interior dos ambientes sanitários. Esta proteção baseia-se no princípio de que as pressões a montante e a jusante dos fechos hidricos devem ser aproximadamente iguais.

Tradicionalmente, no Brasil, os citados sistemas de ventilação são compostos por um conjunto de tubulações que interligam todos os pontos a jusante dos fechos hidricos ao ar exterior, com o

intuito de garantir a existência de pressão atmosférica nos pontos mencionados. Representam estes sistemas, 30 a 40% do custo total de implantação de um sistema predial de coleta de esgotos sanitários.

Assim, tentativas de simplificação dos sistemas de ventilação, se bem sucedidas, podem resultar em substanciais reduções de custo, tendo em vista a significativa incidência do custo deste subsistema sobre o custo total de implantação de um sistema predial de coleta de esgotos sanitários.

Desta forma, a compreensão do comportamento destes sistemas como um todo, constitui-se em fator de fundamental importância na busca de soluções que permitam a conciliação das funções básicas dos sistemas e a economia na implantação dos mesmos.

Conseqüentemente, o estudo do desempenho dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, representa o ponto de partida para a formulação de critérios de projeto que sejam adequados às reais necessidades dos usuários.

E também importante, em nosso ponto de vista, o estudo dos sistemas prediais de esgotos sanitários utilizados em outros países, procurando-se identificar a maneira pela qual evoluíram os subsistemas de ventilação ao longo dos anos.

Considerando-se como real a possibilidade de simplificação do sistema de ventilação, associado ao sistema predial de coleta de esgotos sanitários, procuraremos, neste trabalho, desenvolver o assunto visando a eliminação da rede de ventilação secundária (colunas e ramais de ventilação), para edifícios residenciais de até cinco pavimentos.

Assim, o propósito fundamental deste trabalho é o estudo dos diversos fatores intervenientes no comportamento dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, com vistas à simplificação do sistema de ventilação, considerando-se os requisitos de desempenho, a evolução dos subsistemas de ventilação ao longo dos anos, e fundamentalmente os aspectos hidráulicos e pneumáticos que influenciam o desempenho de tais sistemas, procurando-se sistematizar os critérios a serem utilizados em projetos de sistemas prediais de esgotos sanitários, sem sistema de ventilação secundária.

### 3. OBJETIVOS

Neste trabalho, abordaremos os diversos fatores intervenientes no comportamento dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, com vistas à simplificação dos sistemas de ventilação, para edifícios residenciais, em particular para os de até cinco pavimentos, que representam a grande maioria das edificações de conjuntos habitacionais de interesse social.

Assim sendo, procuraremos:

- estudar o conceito de desempenho aplicado aos sistemas sanitários prediais, constituídos pelos seguintes subsistemas:
  - . sistema de suprimento de água,
  - . sistema de equipamento sanitário,
  - . sistema de coleta de esgotos sanitários;
  
- identificar os requisitos e critérios qualitativos de desempenho dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, considerados como partes integrantes dos sistemas sanitários prediais, a partir do estabelecimento das exigências e atividades dos usuários e das condições de exposição a que ficam sujeitos tais sistemas;

- selecionar os requisitos e critérios qualitativos de desempenho dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários que interferem diretamente no comportamento dos sistemas, tendo em vista a simplificação dos sistemas de ventilação;
- caracterizar os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, a partir do estudo das configurações utilizadas em vários países, em diversas épocas, identificando os sistemas de ventilação utilizados;
- estudar as ações a que ficam submetidos os fechos hidricos, ações estas dependentes ou não da ocorrência de escoamento de água nas tubulações dos sistemas prediais de esgotos sanitários, procurando estabelecer critérios para a avaliação da resistência dos fechos hidricos quando submetidos às oscilações de pressão no interior do sistema;
- estudar o comportamento do escoamento dos efluentes nos diversos elementos que constituem os sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários, avaliando-se as vazões produzidas nos sistemas, bem como os critérios para o estabelecimento das vazões de projeto, e as capacidades das tubulações do sistema com relação à condução dos efluentes aos seus destinos finais;



- estudar as oscilações de pressão que se desenvolvem no interior das tubulações que constituem os sistemas prediais de esgotos sanitários, provocadas pelo escoamento dos efluentes;
- relacionar as variáveis intervenientes no comportamento hidráulico e pneumático dos sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários, através da formulação de modelo que permita avaliar as condições que determinam a necessidade da ventilação secundária (colunas e ramais de ventilação);
- aplicar o sistema predial de coleta de esgotos sanitários, sem ventilação secundária, em edifício residencial com cinco pavimentos, avaliando experimentalmente o comportamento dos fechos hidricos, quando expostos às condições reais de utilização.

#### 4. REQUISITOS DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS SANITARIOS PREDIAIS

##### 4.1 Conceito de enfoque sistêmico

É marcante o desenvolvimento que tem ocorrido, a partir dos anos 1940, nos estudos dedicados à compreensão e conceituação de sistemas.

Segundo Ackoff [20], um sistema é um conjunto de dois ou mais elementos inter-relacionados de algum modo; por exemplo, conceitos (como no sistema numérico), objetos (como no sistema telefônico ou corpo humano) ou pessoas (como nos sistemas sociais). Conseqüentemente, um sistema não é um elemento último indivisível, mas sim um todo que pode ser dividido em partes. Os elementos de um conjunto e o conjunto de elementos que formam um sistema devem ter as três propriedades seguintes:

- as propriedades ou comportamentos de cada elemento do conjunto têm efeito sobre as propriedades do conjunto entendido como um todo. Por exemplo, cada órgão de um corpo animal afeta o desempenho do corpo como um todo.
- as propriedades e comportamento de cada elemento, e a maneira pela qual afetam o todo, dependem das propriedades e comportamento de pelo menos um outro elemento do conjunto. Conseqüentemente, nenhuma parte tem efeito independente sobre o todo e cada parte é afetada por pelo menos uma outra parte. Por exemplo, o comportamento do

coração e o efeito que ele exerce sobre o corpo depende do comportamento dos pulmões.

- cada possível subgrupo de elementos do conjunto tem duas primeiras propriedades: cada subgrupo tem um efeito não independente sobre o todo. Consequentemente, o todo não pode ser decomposto em subconjuntos independentes. Um sistema não pode ser subdividido em subsistemas independentes. Por exemplo, todos os subsistemas em um corpo animal, tais como os sistemas nervoso, respiratório, digestivo e motor interagem e cada um afeta o comportamento do todo.

Ainda, segundo Ackoff [20], "um sistema é mais do que a soma de suas partes".

Como decorrência do exposto, verificamos que um sistema tem sempre determinadas propriedades ou comportamento que nenhuma das partes ou subsistemas pode ter isoladamente. Para exemplificar, um sistema hidráulico predial tem como propriedade permitir o uso da água para diversas finalidades. Assim a água, o sistema de suprimento, os equipamentos sanitários e o sistema de coleta, funcionando de forma integrada, permitem ao usuário o exercício das funções para a qual o sistema hidráulico, como um todo, foi projetado. Um lavatório isolado do todo não tem, por si só, a propriedade de permitir o uso da água. A existência de um lavatório, só se justifica quando integrado como parte do subsistema equipamentos sanitários, subsistema este parte do

subsistema hidráulico predial, que por sua vez constitui um dos subsistemas do sistema serviços, sendo este, integrante do sistema edifício.

A metodologia de abordagem de problemas, historicamente, vem sofrendo, nas últimas décadas, um processo transicional de um enfoque reducionista, para um enfoque expansionista, ou seja, do analítico para o sintético. Entendemos enfoque reducionista (analítico), como sendo a maneira de abordar problemas a partir da subdivisão do todo em partes indivisíveis, procurando estudar suas propriedades e comportamentos, e explicar o comportamento do todo através do comportamento de suas partes.

Em resumo a metodologia reducionista traduz-se na decomposição de um problema complexo em problemas simples, considerando-se que a solução deste problema complexo é a somatória da solução dos problemas simples, obtidos na decomposição. Por exemplo, no processo convencional de projeto de um edifício é comum a prática de se abordar separadamente a arquitetura, a estrutura e as instalações, procurar as melhores soluções para cada um destes projetos parciais e finalmente entender como projeto do edifício a somatória dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações.

Esta abordagem reducionista tem se mostrado inadequada para a resolução dos problemas que, dia a dia, têm aumentado o grau de complexidade. Isto se deve ao fato que um sistema pode ser dividido física ou estruturalmente, mas não funcionalmente. Então, sob o ponto de vista de funcionalidade, um sistema é um todo indivisível.

o Enfoque expansionista apresenta-se através de um modo sintético na abordagem dos problemas. Entendemos enfoque expansionista (sintético), como sendo a maneira de abordar subsistemas sem desmembrá-los funcionalmente do sistema a que pertencem.

Nesta forma de abordagem, qualquer problema deve ser explicado a partir do reconhecimento de sua relação com os problemas maiores que os contém. Utilizando-nos do exemplo anteriormente apresentado, temos que o projeto do edifício como um todo requer soluções integradas dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações, resultando no melhor projeto do edifício e não necessariamente nos melhores projetos parciais de arquitetura, estrutura e instalações.

Em resumo, as duas formas de abordagem de problemas apresentadas (analítica e sintética), devem ser entendidas nas suas exatas medidas. A forma analítica permite o conhecimento das partes, mas falha quando é necessária uma explicação do todo. A forma sintética permite explicar o todo, não excluindo a possibilidade da explicação do particular.

Enfim, o modo sintético de se abordar problemas é, portanto, mais abrangente do que o modo analítico, levando à soluções mais consistentes e adequadas de determinados problemas. Em alguns casos esta abordagem sintética permite a resolução de problemas de elevada complexidade, cuja solução não seria possível através de uma abordagem exclusivamente analítica.

A abordagem de problemas, utilizando-se o conceito de sistema, e a maneira expansionista (sintética) de pensar denominamos enfoque sistêmico.

Ao considerarmos um edifício como sendo um sistema e ao estudarmos suas propriedades e comportamento através de uma abordagem expansionista (sintética), estamos de fato utilizando o enfoque sistêmico para o sistema edifício.

#### 4.2 Conceito de desempenho

O conceito de desempenho aplicado ao sistema edifício, e em particular ao subsistema de instalações sanitárias prediais tem caráter expansionista (sintético), pois procura avaliar princípios e comportamentos a partir do conhecimento do problema maior.

Especificamente, ao se falar em instalações hidráulicas, quando abordamos as necessidades dos usuários e conseqüentemente as funções para as quais o sistema é concebido, estamos enfocando este subsistema sistemicamente.

Caso desconsiderássemos esta visão, poderíamos, eventualmente, projetar um sistema ao qual o usuário devesse adaptar-se. Assim, quando procuramos projetar, executar, operar e manter sistemas sanitários prediais que devam atender às exigências dos usuários, o uso do enfoque sistêmico e conseqüente conceito de desempenho, torna-se ferramenta de extrema valia.

Desta forma, objetiva-se na concepção de um sistema sanitário predial a sua adequação ao usuário, e não o caso contrário, ou seja do usuário ao sistema.

segundo Wyly e Galowin [21], "o conceito de desempenho centraliza-se na idéia de que produtos, dispositivos, sistemas ou serviços podem ser descritos e os seus desempenhos podem ser medidos em termos das exigências dos usuários, desconsiderando-se combinações particulares de características físicas e químicas, seus projetos ou métodos de criação. A chave para o desenvolvimento de padrões de desempenho é a identificação de critérios significantes, que caracterizem o desempenho esperado e a subsequente geração de metodologias, para medir como estes produtos, processos e sistemas aderem aos critérios."

É importante ressaltar que existe significativa diferença entre a aplicação do conceito de desempenho a sistemas e a materiais. O conceito de desempenho de sistemas liga-se diretamente a compatibilização dos mesmos às exigências do usuário, independentemente dos materiais a serem usados. O conceito de desempenho de materiais liga-se à durabilidade e à capacidade de, como parte do sistema, exercer sua função e conseqüentemente contribuir para que o sistema também permaneça em funcionamento adequado, durante o período de utilização a ser considerado.

Este trabalho será dirigido fundamentalmente para a adequação do projeto de sistemas sanitários prediais, em particular dos

sistemas de coleta de esgotos sanitários, às necessidades dos usuários.

Assim, nossa atenção estará voltada para o desenvolvimento de metodologia de projeto de sistemas, através do conceito de desempenho. Não serão abordados os pontos relativos ao desempenho dos materiais.

Assim, desempenho significa o comportamento em uso, conforme definido pela Comissão W60 do CIB [22].

A abordagem de sistemas através da utilização do conceito de desempenho, acima exposto, consiste em:

1. caracterizar quais são os usuários do sistema;
2. definir as necessidades e exigências dos usuários (qualitativamente);
3. identificar as condições de exposição a que está submetido o sistema;
4. definir os requisitos (qualitativos) de desempenho do sistema;
5. definir os critérios, (qualitativos ou quantitativos), de desempenho do sistema;
6. estabelecer os métodos para a avaliação do desempenho do sistema.

O estabelecimento dos itens acima independe, como já dissemos anteriormente, das características físico-químicas, dos projetos e dos métodos de implantação dos sistemas, bem como de materiais e produtos existentes.



Consequentemente, procura-se, através do conceito de desempenho a formulação adequada das finalidades, qualidades (requisitos) e propriedades do sistema, os parâmetros quantitativos que representem estas qualidades e os meios para a avaliação do sistema com relação ao atendimento dos critérios estabelecidos.

Desta forma, esta abordagem conceitual poderá ser efetivamente útil para:

- o desenvolvimento de metodologia de projeto;
- o desenvolvimento de novos produtos;
- o controle de desempenho de sistemas;
- o estabelecimento de regulamentos e normas.

Passemos agora para uma interpretação mais detalhada dos conceitos apresentados.

Para a aplicação correta do conceito de desempenho torna-se necessária a identificação dos usuários dos sistemas, no mais amplo sentido.

Devem ser considerados como usuários do sistema edifício:

- os ocupantes do edifício:
  - pessoal permanente;
  - visitantes;
  - pessoal de limpeza;
  - pessoal de manutenção.

- não ocupantes do edifício:

- . construtores;
- . proprietários;
- . financiadores;
- . administradores;
- . vizinhos;
- . o serviço público de saneamento básico.

Devem ser considerados, também, "usuários" não humanos, tais como, animais, plantas, máquinas, equipamentos e produtos.

A caracterização do usuário está intimamente interligada à finalidade a que se destina o edifício. Uma mesma pessoa quando utiliza um edifício residencial e um edifício escolar manifesta exigências diferentes. Para um edifício de um mesmo tipo, ou seja, para uma mesma finalidade, usuários diferentes terão exigências diferentes.

Finalmente, influenciam as exigências dos usuários os aspectos regionais, culturais, sociais, econômicos, políticos, morais e religiosos.

#### 4.3 As exigências e atividades dos usuários e as condições de exposição dos sistemas sanitários prediais

A natureza do edifício e as características dos usuários constituem-se nos fatores essenciais para o estabelecimento das exigências dos usuários. Estas exigências estão relacionadas com os tipos de atividades desenvolvidas pelos usuários.

conseqüentemente, a partir da identificação destas atividades, podemos determinar os requisitos de desempenho dos sistemas sanitários prediais e a partir daí, estabelecer os critérios de desempenho e os métodos de avaliação.

Neste trabalho, restringiremos nossas colocações a edifícios com finalidade exclusivamente habitacional.

A exigência fundamental dos usuários dos sistemas sanitários prediais poderia ser traduzida por uma única afirmação: o usuário deseja que estes sistemas permitam o uso adequado da água, para todas as atividades desenvolvidas na habitação.

Evidentemente, para o estabelecimento dos requisitos de desempenho dos sistemas hidráulicos prediais, torna-se necessário o conhecimento das atividades exercidas pelo usuário, a um nível maior de detalhamento.

Rosrud [23] estudou o assunto em profundidade, dando-nos significativos subsídios para a elaboração da lista de atividades dos usuários, apresentada a seguir, que não pretende ser exaustiva, mas exemplificativa.

Temos assim:

- atividades relativas à alimentação:

- preparo de bebidas;
- preparo de alimentos;
  - lavagem
  - cocção: .água como ingrediente;  
.água como complemento da atividade.

- atividades relativas à higiene e saúde pessoal:

- lavagem corporal (crianças e adultos);
  - completa .por imersão;  
.por jatos:
  - parcial
- cuidados com enfermos:

- atividades relativas à higiene de objetos de uso pessoal:

- lavagem de roupas e atividades afins;
- lavagem de utensílios de:
  - cozinha;
  - banheiro;
  - outros.

- atividades relativas à higiene ambiental:

- remoção de dejetos;
- limpeza e manutenção de elementos da construção e áreas adjacentes;

- limpeza e manutenção de mobiliário, utensílios e objetos decorativos;
- atividades relativas ao lazer;
- atividades diversas.

Como já abordamos anteriormente, em 1.4, as instalações sanitárias prediais são constituídas por três sistemas inter-relacionados:

- sistema de suprimento de água;
- sistema de equipamento sanitário;
- sistema de coleta de esgotos sanitários.

A relação mais direta entre o usuário e as instalações sanitárias prediais se estabelece entre o usuário, realizando suas atividades ligadas ao uso da água, e o sistema de equipamento sanitário. Assim, a seleção de aparelhos que constituem o sistema de equipamento sanitário, para um dado edifício, depende basicamente de:

- atividades dos usuários:

- função do tipo de edifício
  - .habitação;
  - .escola;
  - .hospital;
  - .hotel;
  - .etc.

- funções das características do usuário, determinadas por fatores
  - .regionais;
  - .culturais;
  - .sociais;
  - .econômicos;
  - .morais;
  - .políticos;
  - .religiosos.

- características do edifício:

- população (quantidade e distribuição);
- área total construída;
- organização espacial.

- características dos aparelhos sanitários:

- função do aparelho;
- disponibilidade para aquisição;
- características ergonômicas dos aparelhos;
- necessidade eventual de novos produtos.

A configuração dos aparelhos sanitários no interior do edifício, isto é, a determinação dos ambientes sanitários quanto à distribuição e agrupamento, deve levar em conta:

- percursos do usuário até o local de uso;
- frequência da utilização dos aparelhos;
- condições ambientais
  - .ventilação;
  - .insolação;
  - .iluminação;
  - .acústica;
  - .etc.

- facilidades de uso
  - .características ergométricas;
  - .ambientais;
  - .espaços livres;
  - .acessibilidade;
  - .etc.
  
- facilidades de manutenção e limpeza.

Cabe acrescentar que em edifícios de uso eminentemente habitacional, os aparelhos sanitários comumente utilizados no Brasil, são os seguintes:

- lavatórios;
- bacias sanitárias:
  - .com válvula de descarga;
  - .com caixa de descarga.
- filtros;
- chuveiros;
- bidês;
- banheiras;
- pias de cozinha;
- tanques;
- ralos;
- máquinas de lavar pratos;
- máquinas de lavar roupas;
- torneiras de lavagem e jardim.

Gostaríamos de salientar que, tanto a lista de atividades do usuário, quanto a relação de aparelhos sanitários, foram apresentados em caráter exemplificativo. Para casos específicos, estes elementos deverão ser adequados em função do nível de exigência a ser estabelecido.

Definido o sistema de equipamento sanitário, sua seleção e configuração, podemos então definir o sistema de suprimento de água e o sistema de coleta de esgotos sanitários, sem os quais o sistema sanitário predial, como um todo, não atende às suas finalidades.

Entretanto, para que possamos estabelecer os requisitos de desempenho dos sistemas em questão, devemos considerar, ainda, as ações atuantes no sistema, ou como já mencionamos anteriormente, as condições de exposição a que o sistema está sujeito.

Fundamentalmente, podemos considerar o sistema sanitário predial sujeito a três tipos de condições de exposição, conforme Rosrud [24]. Temos, assim:

- ações sobre o sistema, resultantes de sua utilização:

- risco de explosão;
- danos ocasionados por uso incorreto;
- danos ocasionados por ocorrências acidentais;
- atração de poeira e outros resíduos;
- efeitos de transferência de calor;
- golpe de ariete;
- condensação;
- pressões de água;
- cargas estáticas e dinâmicas;
- fissuramento e desgaste;
- descoloração.



- ações sobre o sistema, resultantes do seu meio ambiente (clima, construção, etc.)

- vibrações;
- poeira (ar / ventilação);
- variação de temperatura;
- congelamento;
- influência da luz;
- condensação;
- cargas estáticas e dinâmicas;
- corrosão interna e externa;
- danos devidos à manutenção;
- descoloração;
- crescimento de bactérias e fungos;
- efeitos do fogo.

- ações do sistema sobre o meio ambiente

- ruídos causados pelo uso;
- ruídos causados pelo fluxo;
- ruídos causados por movimentos térmicos;
- ruídos causados pela formação de bolhas de ar;
- ruídos causados por vibrações;
- danos causados pela água;
- entupimentos;
- emissão de calor;
- umidade;
- cargas estáticas e dinâmicas;

- danos devidos à manutenção;
- diminuição da resistência de elementos estruturais;
- poluição;
- descoloração;
- crescimento de bactérias e fungos;
- odores;
- propagação do fogo.

Em resumo, a partir do conhecimento das atividades exercidas pelos usuários do edifício e das condições de exposição do sistema sanitário predial, podemos, então, formular os requisitos de desempenho das instalações hidráulicas prediais.

#### 4.4 Requisitos de desempenho dos sistemas sanitários prediais

Conforme mencionamos anteriormente, os requisitos de desempenho podem ser classificados da seguinte maneira:

- requisitos relacionados com a utilização do sistema sanitário predial;
- requisitos relacionados com as condições de exposição do sistema.

##### 4.4.1 Requisitos de desempenho relacionados com a utilização

Os requisitos relacionados com a utilização do sistema serão apresentados a seguir, entendidos como funções básicas dos subsistemas que compõem o sistema sanitário predial.

- requisitos de desempenho do sistema de suprimento de água:

- Qualidade da água:

possibilitar que a água, entregue no ponto de utilização, seja de boa qualidade.

- Quantidade de água:

possibilitar que a água seja entregue no ponto de utilização em quantidade suficiente.

- Disponibilidade de água:

possibilitar que a água seja entregue no ponto de utilização quando necessário.

- Adequabilidade do uso da água:

suprir de água o ponto de utilização de forma conveniente.

- Controle de quantidade de água:

possibilitar que a quantidade de água disponível no ponto de utilização seja controlável.

- Temperatura da água:

possibilitar que a água seja entregue no ponto de utilização em temperatura adequada ao uso.

Assim, o sistema de suprimento de água deve prover, quando necessária ao uso, água de boa qualidade, em quantidade e temperatura controláveis pelo usuário, para a sua adequada utilização.

- requisitos de desempenho do sistema de equipamento sanitário:

- **Qualidade da água:**

ter aparelhos sanitários que não permitam a contaminação da água utilizada.

- **Quantidade:**

ter aparelhos sanitários em quantidade suficiente.

- **Acessibilidade:**

permitir o acesso ao local de utilização e garantir a existência de espaços suficientes e adequados a movimentação do usuário.

- **Flexibilidade:**

permitir modificações e adaptações dos aparelhos sanitários em função de alterações das exigências dos usuários ao longo do tempo.

- **Controle de água para uso:**

ter aparelhos sanitários que possam acomodar água no seu interior, a critério do usuário, em quantidade compatível com suas utilizações.

- **Adaptabilidade ao usuário:**

ter aparelhos sanitários instalados e com dimensões de acordo com as características ergonômicas dos usuários.

- Forma e cor:

ter aparelhos sanitários com formas e cores, adequadas às suas utilizações, e agradáveis aos usuários.

- Condução de despejos:

ter aparelhos sanitários que conduzam rapidamente a água, bem como os despejos nela introduzidos, provenientes do uso destes aparelhos.

- Proteção do sistema de coleta dos esgotos:

ter aparelhos sanitários providos de dispositivos que não permitam o ingresso de objetos com características que possam prejudicar o funcionamento da instalação de esgotos sanitários.

- Capacidade de suporte:

ter aparelhos sanitários com capacidade de suportar cargas e esforços provenientes do transporte da instalação, do uso e da manutenção.

- Segurança contra extravasão:

ter aparelhos sanitários capazes de coletar e conduzir o excesso de água, de forma a garantir o não extravasamento em condições normais de utilização.

- Funcionalidade:

ter aparelhos sanitários agrupados de forma a permitir a utilização sequencial de maneira funcional.

- Acessórios do sistema:

possibilitar a existência de locais destinados à colocação de objetos utilizados como acessórios de complementos das atividades pertinentes a cada tipo de aparelho sanitário.

- requisitos de desempenho do sistema de coleta de esgotos sanitários:

- Qualidade da água:

evitar a contaminação da água do sistema de suprimento e do sistema de equipamento sanitário, de forma a garantir a qualidade da água de consumo.

- Quantidade de água:

possibilitar que a água utilizada e os despejos introduzidos, através da utilização normal, sejam conduzidos, a destino adequado, nas quantidades produzidas pelos equipamentos sanitários.

- Disponibilidade:

possibilitar que a água utilizada e os despejos introduzidos, através da utilização normal, sejam conduzidos, quando necessário, a destino adequado.

- Adequabilidade:

permitir que a água utilizada e os despejos introduzidos, através da utilização, escoem de forma conveniente, até o destino adequado.

- Temperatura da água:

possibilitar que a água utilizada seja conduzida, a destino adequado, na temperatura conseqüente dessa utilização no sistema de equipamento sanitário.

Assim, o sistema de coleta dos esgotos sanitários deve coletar e destinar, quando necessário, a água nele introduzida, e os despejos provenientes do uso desta água, na quantidade, temperatura e maneira adequada, de forma a assegurar a qualidade da água para consumo.

4.4.2 Requisitos de desempenho relacionados com as condições de exposição:

Os requisitos relacionados com as condições de exposição serão apresentados a seguir, entendidos, também, como funções básicas dos subsistemas que compõem o sistema sanitário predial.

Tendo em vista a similaridade das ações para os três sistemas anteriormente citados, apresentamos uma única relação de requisitos. Temos assim:

- Ruído:

restringir à níveis aceitáveis os ruídos produzidos pela instalação.

- Vibrações:

restringir a ocorrência de vibrações dos equipamentos do sistema, de maneira a não causar desconforto e danos materiais.

- Odores:

restringir o retorno dos odores provenientes da instalação, em seu todo ou em partes.

- Calor, frio e temperatura:

permitir a utilização do sistema, de forma adequada, sem que as influências do calor, frio e das variações de temperatura prejudiquem o seu funcionamento.

- Resistência mecânica:

suportar a ação de cargas estáticas e dinâmicas, provenientes de agentes internos e externos ao sistema.

- Resistência dos elementos da construção:

assegurar a não diminuição da resistência dos elementos estruturais que constituem o edifício.

- Desgaste, fissuramento e corrosão:

resistir às ações que conduzam ao desgaste, fissuramento e corrosão dos elementos que constituem o sistema.

- Danos devido ao uso:

resistir às ações devido ao uso normal, ao uso inadequado



e às falhas de fabricação, não devendo acarretar danos aos usuários e às suas propriedades.

- **Condensação:**

operar sem que os efeitos da condensação prejudiquem o funcionamento do sistema.

- **Luz**

ser à prova de penetração de luz para que a água não tenha sua qualidade prejudicada pelo efeito da luz.

- **Ataque biológico:**

assegurar a não proliferação de bactérias, fungos, etc., que ataquem os elementos que constituem o sistema.

- **Explosão:**

assegurar que os elementos do sistema sejam resistentes à explosão.

- **Incêndio:**

minimizar a propagação do incêndio, quando de sua ocorrência.

- **Preservação da natureza:**

destinar as águas servidas e despejos de forma a assegurar a manutenção do equilíbrio ecológico.

- Aparência:

manter a aparência dos elementos que constituem o sistema, não permitindo a ocorrência de manchas, depósitos de resíduos e descoloração dos equipamentos e dispositivos.

- Limpeza:

permitir o acesso a todos os elementos do sistema, de forma a possibilitar a limpeza dos mesmos.

- Manutenção e reposição:

permitir a manutenção de todos os elementos do sistema, possibilitando a fácil reposição de qualquer um destes elementos.

- Operação:

facilitar a identificação dos elementos do sistema, possibilitando, assim, a adequada operação destes elementos e do sistema como um todo.

Conforme citado anteriormente, a partir dos requisitos de desempenho dos sistemas, é possível estabelecer os critérios de desempenho e os métodos de avaliação de desempenho.

Neste trabalho, enfocaremos exclusivamente o sistema de coleta de esgotos sanitários, procurando adequar, ao conceito de desempenho, a metodologia de projeto. Uma vez caracterizados os requisitos e critérios de desempenho dos sistemas de coleta de esgotos sanitários, nossa atenção estará voltada à metodologia de projeto do sistema, baseada nestes critérios.

No item seguinte, estudaremos, exclusivamente, o elenco de requisitos e critérios relativos aos sistemas de coleta de esgotos sanitários, com particular interesse àqueles destinados a edifícios de uso habitacional.

#### 4.5 Desempenho dos sistemas de coleta de esgotos sanitários

Tendo em vista o exposto em 4.4, apresentaremos a seguir, de forma detalhada, os requisitos e critérios qualitativos de desempenho dos sistemas de coleta de esgotos sanitários. Temos assim:

- a. Os odores existentes no interior das tubulações de esgotos sanitários não deverão penetrar nos ambientes sanitários:

A ocorrência de odores nas instalações prediais de esgotos sanitários, devido às características dos despejos escoados por esta instalação, podem exercer alguns efeitos indesejáveis nos usuários.

Para evitar a penetração desses odores nos ambientes sanitários, deve ser previsto, na instalação, bloqueio contra a passagem desses odores, normalmente efetuado através de uma coluna hídrica (fecho hídrico). Ao dispositivo que armazena a água responsável pela manutenção do fecho hídrico denominamos de sifão (Figura 2).

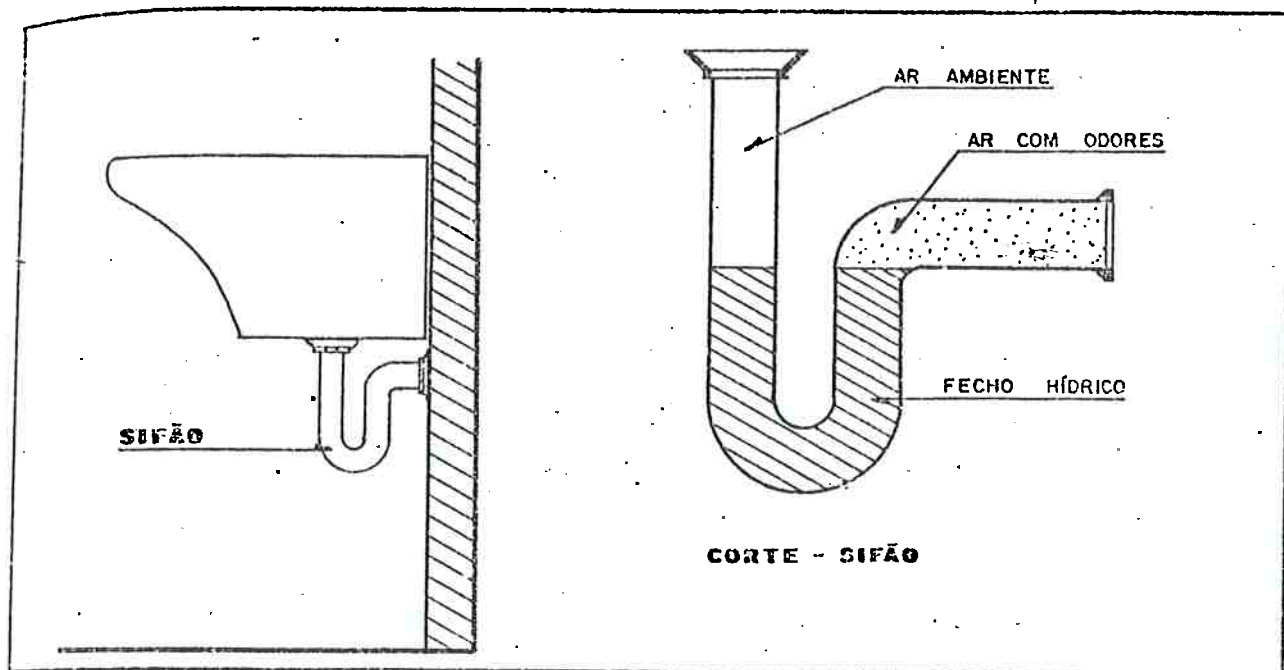


Figura 2 - Sifão de uma instalação predial de esgotos sanitários.

Assim sendo, em função da exigência em questão, o sistema deve atender aos seguintes critérios qualitativos:

- a.1 Todos os pontos passíveis de retorno de odores indesejáveis, que possam afetar os usuários, devem ser protegidos por fechos hídricos.
- a.2 Deve haver circulação de ar no interior das tubulações da instalação de esgotos sanitários, a fim de minimizar a concentração de gases odoríferos no seu interior.
- a.3 Os fechos hídricos não devem permitir o ingresso do ar e gases do interior da tubulação para dentro dos ambientes sanitários, sob as seguintes circunstâncias:

- passagem direta;
- difusão;
- borbulhamento;
- retorno de espuma.

a.4 Os fechos hidricos devem manter o bloqueio hidráulico durante a utilização do sistema, isto é, resistir à:

- evaporação da água;
- ação sifônica da descarga do aparelho protegido pelo fecho hidrico;
- ação das descargas de outros aparelhos ligados ao sistema.

b. O escoamento dos efluentes no interior dos sistemas prediais de esgotos sanitários deve se processar de modo a:

b.1 Assegurar a integridade das proteções hidricas (fechos hidricos).

b.2 Evitar a criação de pressões hidrostáticas excessivas ou flutuações de pressão pneumática a níveis indesejáveis e garantir a auto-limpeza das tubulações.

Para que isso ocorra, todos os trechos de tubulação da instalação deverão ser dimensionados a partir do estabelecimento das vazões de projeto adequadas.

c. As dimensões e disposições dos diversos elementos do sistema devem ser estabelecidas de maneira a:

- c.1 Impedir que os elementos constituintes da instalação provoquem a contaminação da água de consumo, através da existência de "conexão cruzada" com o sistema de suprimento de água.

Entendemos por "conexão cruzada" uma conexão física ou um arranjo entre dois sistemas de tubulações independentes, pelos quais a água pode fluir de um para outro, sendo que a direção do fluxo é condicionada pela direção da pressão diferencial entre os dois sistemas [25], [26], [27], [28].

- c.2 Permitir que a utilização do sistema se faça com níveis de ruído e vibrações toleráveis ao usuário.

Os maiores problemas, relacionados com ruídos nas instalações hidráulicas, encontram-se no sistema de suprimento de água e nos equipamentos sanitários. Nas instalações prediais de esgotos sanitários, alguns cuidados devem ser tomados no traçado geométrico das tubulações, para minimizar a ocorrência de ruídos indesejáveis, ocasionados pelo escoamento [16], [29], [30].

- c.3 Garantir fácil acesso para limpeza ou eventual desobstrução, bem como facilitar a reposição de elementos constituintes da instalação.

A instalação de esgotos sanitários, pela própria característica de uso, está sujeita a receber os mais variados tipos de despejos, que podem não ser eficientemente

carregados pelo fluxo hidráulico, ficando, portanto, a instalação, suscetível à deposição desses despejos. Deve-se, portanto, prever meios de acesso a trechos da instalação, tais como, poços, caixas e dispositivos de inspeção, que permitam a retirada dos materiais depositados, recompondo-se, assim, as condições normais de funcionamento da instalação, bem como a realização de testes de avaliação do desempenho da instalação.

- c.4 . Conduzir os efluentes a destino final, de modo que a interferência no equilíbrio ecológico seja minimizada.

Em locais onde exista rede pública de esgotos sanitários, a instalação predial deve destinar os despejos a esta rede. Em locais onde não exista rede pública de esgotos sanitários, o destino final dos esgotos prediais deve ser feito de forma a não contaminar o solo, o subsolo, o lençol freático e, eventualmente, mananciais superficiais que possam existir.

- d. Os componentes, produtos e materiais que constituem o sistema devem ser de tal forma estabelecidos de maneira a assegurar a durabilidade da instalação de esgotos sanitários, isto é, a capacidade de manter o desempenho funcional e a segurança do sistema, durante um determinado período de tempo.

Para tanto, deve-se considerar na especificação dos componentes, produtos e materiais os seguintes critérios qualitativos, de maneira a:

d.1 Resistir às ações térmicas devidas às variações de temperatura da água de escoamento, bem como variações das condições térmicas ambientais.

Os materiais que compõem a instalação devem ser especificados, de forma compatível com as temperaturas normais de uso da água, para as diversas atividades do usuário.

Retrações e dilatações, por variação da temperatura ambiental, devem ser, também, consideradas para a determinação dos materiais e produtos a serem empregados.

d.2 Resistir às ações mecânicas, devidas à interação com elementos de construção, ao uso, à manutenção e a acidentes.

O sistema, uma vez instalado no edifício, pode ficar sujeito a esforços mecânicos provenientes da movimentação própria dos elementos da construção. Logo, os materiais e produtos devem ser especificados considerando o grau de interação com os outros subsistemas físicos do edifício.

A instalação deve resistir às ações provenientes do uso da mesma, devido ao escoamento, tais como, desgaste por atrito, choque dos despejos sólidos, etc.

A instalação deve resistir às ações provenientes dos trabalhos de manutenção, tais como, esforços produzidos por



equipamentos de limpeza e desobstrução, esforços produzidos por equipamentos e ferramentas de montagem e desmontagem, etc.

A instalação deve resistir às ações provenientes de eventos acidentais, tais como, perfuração de paredes, choques acidentais, etc.

d.3 Resistir às ações químicas e biológicas devidas ao escoamento e às condições de exposição.

Os materiais devem ser especificados tendo em vista o tipo de despejo carregado pela água, tais como, ácido cítrico, ácido láctico, etc.

Devem ser considerados, também, os efeitos químicos ocasionados pelo contato com outros materiais da construção e com o solo.

Os materiais devem ser de fácil limpeza, possibilitando a não formação de colônias bacterianas e fungos.

Procuramos, neste capítulo, estudar e ordenar os requisitos e critérios qualitativos de desempenho referentes ao sistema sanitário predial e, em particular, ao sistema de coleta de esgotos sanitários prediais, objeto deste trabalho.

Apresentaremos conceitos e técnicas necessárias à caracterização dos sistemas de coleta de esgotos sanitários prediais, baseando-nos, exclusivamente, nos requisitos e critérios de desempenho apresentados nos itens a e b.

Assim, estudaremos os sistemas em questão, sob o ponto de vista de:

- proteção contra o ingresso de odores;
- condições de escoamento de efluentes no interior dos sistemas.

tendo em vista os objetivos formulados anteriormente.

A seguir, procuraremos identificar os vários sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários, avaliando a evolução histórica dos mesmos e suas relações com a proteção contra o retorno de odores do sistema para o interior dos ambientes sanitários.

## 5. SISTEMAS PREDIAIS DE COLETA DOS ESGOTOS SANITARIOS

### 5.1 O retorno de odores e os primeiros sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários

Como vimos anteriormente, em 4.5 - item a, uma instalação predial de esgotos sanitários não deve permitir a penetração de odores, que se formam no interior às tubulações, para os ambientes sanitários.

Acreditava-se, no fim do século passado, que os odores produzidos pelos despejos sanitários provocavam, além de sensações desagradáveis, efeitos nocivos à saúde. Conforme Wise [31], naquela época, atribuíam-se aos gases provenientes dos esgotos sanitários a responsabilidade pela morte de várias pessoas, que tinham tido contato com as emanções destes gases. Alessi [32], em 1895, realizou experiências em pequenos animais, para a verificação da capacidade de resistir à doenças, quando expostos aos odores fecais. Estas experiências, não conclusivas, indicaram que os gases fecais poderiam provocar doenças, mesmo em pequenas concentrações, dando origem ao que se denominou, na época, de "Sewer Gas Theory". A teoria de Alessi condicionou as atitudes perante o problema. Entretanto, estes efeitos nocivos não se confirmavam na prática.

Na década de 1910, Delépine [33], Winslow e Greenberg [34], realizaram, também, experiências com pequenos animais, não confirmando os resultados obtidos por Alessi. Nenhuma evidência

de doença provocada pelos gases fecais foi constatada por estes pesquisadores.

Foram, também, realizadas pesquisas no sentido de comparar o conteúdo de microorganismos existentes no ar puro e no ar com gases fecais. Em 1951, a "American Public Health Association" [35] concluiu que o ar de um coletor de esgoto sanitário difere do ar ambiente apenas pelo odor desagradável que exala.

Gasi, Prota e outros [36] mencionaram em seu trabalho, de 1984, que: "Os odores podem criar ou alterar estados de humor. Os efeitos do odor, como foi dito, são mais psicológicos. Está provado, no entanto, que odores podem causar aumento no batimento cardíaco, respiração, pressão sanguínea, e, inclusive, dor. Ainda, uma contínua exposição pode, eventualmente, atrofiar o aparelho olfativo".

As principais substâncias odoríferas encontradas nos esgotos sanitários são resultantes de atividades biológicas, podendo ser vapores orgânicos ou gases inorgânicos. A maioria destas substâncias, provenientes de decomposição anaeróbia, possuem enxofre e nitrogênio. Os gases normalmente produzidos, a partir dos esgotos domésticos [36], contêm:

- ácido sulfídrico -  $H_2S$
- amônia -  $NH_3$
- dióxido de carbono -  $CO_2$
- metano -  $CH_4$

Cabe comentar que, o ácido sulfídrico ocorre com maior frequência e intensidade, com odor característico de "ovo podre". Este gás pode ser identificado com uma concentração de 0,0047ppm. O H<sub>2</sub>S é encontrado em concentrações variando entre 1,5 e 4,0ppm, não atingindo assim concentrações letais da ordem de 250ppm.

Em fase do exposto, é pensamento comum entre os pesquisadores da área que os odores provenientes dos esgotos sanitários, nas concentrações normais, não provocam consequências graves à saúde das pessoas, mas são bastante incômodos e podem afetar o estado psicológico das mesmas. Conseqüentemente, é indesejável permitir que os odores penetrem nos ambientes sanitários, provenientes da instalação de esgotos sanitários.

Procuraremos, então, verificar como o problema de retorno de odores em sistemas prediais de esgotos sanitários influenciou a evolução destes sistemas.

Os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários do século passado, eram concebidos sem a devida atenção ao retorno de odores para os ambientes sanitários, procurando-se, apenas, conduzir os esgotos para fora da edificação.

As instalações prediais de esgotos sanitários surgiram, nos Estados Unidos, por volta de 1845, três anos após a implantação do primeiro sistema predial de suprimento de água [12]. As primeiras instalações eram interligadas à rede urbana de drenagem

das águas pluviais. Somente em 1866 estas instalações foram regulamentadas e tornadas obrigatórias, em Nova Iorque devido a graves problemas sanitários e epidemias que ocorreram na época.

Os aparelhos sanitários eram providos de sifões. Contudo, estes sifões perdiam os fechos hidricos durante a operação do sistema, o que motivou inúmeras tentativas de resolver o problema através da criação de novos tipos de sifão, ou de dispositivos que pudessem evitar o retorno dos odores. Nesta época não eram conhecidos os princípios de ventilação dos fechos hidricos.

Somente em 1874, após a implantação de um grande edifício de escritórios, em Nova Iorque, quando o problema de perda dos fechos hidricos manifestou-se com grande intensidade, iniciou-se o desenvolvimento do estudo da ventilação das instalações prediais de esgotos sanitários.

Naquele ano, realizou-se reunião técnica, em Nova Iorque, onde participaram as autoridades municipais e os profissionais da área, na busca de soluções para o problema. Concluiu-se, nesta reunião, que para a manutenção dos fechos hidricos deveria ser garantida a pressão atmosférica a jusante dos mesmos, através da criação de tubulação específica para esse fim, interligando todos os sifões, e com ligação ao exterior, de modo a permitir a livre entrada e saída do ar atmosférico. A partir das conclusões desta reunião, foram executadas diversas instalações prediais de esgotos sanitários, com tubulações específicas de ventilação, com resultados satisfatórios, atestando, assim, a veracidade da proposta efetuada em tal reunião.

Na Inglaterra, o desenvolvimento deste tipo de instalação seguiu linha similar à dos Estados Unidos. Em 1879 o médico inglês Dr. T. Fridgin Teale [37], em conferência realizada na Sociedade de Filosofia e Literatura, de Leeds, sobre a insalubridade das habitações, concluiu que "a maior parte das moléstias não tem outra origem senão aquelas originadas pela insalubridade das habitações, insalubridade esta devida à evacuação incompleta ou defeituosa dos despejos sanitários". Colocava ainda, o Dr. Teale, que os problemas sanitários eram generalizados, frutos de um total desconhecimento sobre as condições mínimas de higiene, e destacava dois pontos fundamentais para a solução dos problemas de insalubridade:

- A criação de uma regulamentação sanitária, completa e eficaz, e uma execução conscienciosa das instalações sanitárias particulares.
- A publicação de um trabalho, para divulgação à toda população, apontando os erros grosseiros causados pela ignorância completa da higiene, e os defeitos, não menos comuns, devidos à má execução das instalações.

Dois anos após a conferência de Leeds, Dr. Teale publicou, em 1881, livro apontando, em 67 desenhos, os principais defeitos na execução das instalações hidro-sanitárias. À título de ilustração, apresentamos a prancha n. I (Figura 3) e a prancha n. II (Figura 4), do trabalho do Dr. Teale. A primeira prancha apresenta uma instalação típica de esgoto sanitário, inglesa, apontando os principais defeitos, principalmente os relativos ao

retorno de odores. A segunda apresenta exemplo de instalação considerada conveniente, na época.

Comparando-se a evolução inicial das instalações prediais de esgotos sanitários ocorrida nos Estados Unidos e na Inglaterra, que segundo Nielsen [12] é a determinante a nível internacional, podemos apontar:

- Os sistemas americanos, inicialmente, eram constituídos por um único tubo de queda, que recebia os efluentes de todos os aparelhos sanitários, não existindo tubulação de ventilação. A partir de 1874, o sistema ficou constituído de um tubo de queda, com tubulação de ventilação independente associada a este. Cada aparelho era dotado de sifão, e cada sifão era provido de um ramal de ventilação. As instalações americanas eram executadas internamente às edificações.
- Os sistemas ingleses, inicialmente, também eram constituídos por um único tubo de queda, que recebia os efluentes de todos os aparelhos sanitários, não existindo tubulação de ventilação. A partir de 1881, o sistema ficou constituído por dois tubos de queda, um atendendo às bacias sanitárias, e o outro às outras peças, conforme podemos observar na Figura 4. O tubo de queda, que recebe os efluentes das bacias sanitárias, era ventilado por tubulação de ventilação independente. Cada aparelho, ou conjunto de aparelhos, era dotado de sifão. As instalações inglesas eram executadas externamente às edificações.



A - Bacia sanitária instalada no centro da habitação.

B - Coletor de esgoto passando sob o piso de um compartimento.

C - Tubulação de descarga de um lavatório comunicando diretamente com a coluna da bacia sanitária, facilitando o retorno dos odores por aspiração da lareira L.

D - Descarga do extravasor da banheira (sem sifão).

E - Tubulação de descarga da banheira (sem sifão).

F - escoamento do piso do ambiente da banheira (sem sifão).

G - Tubulação de descarga da pia de cozinha (sem sifão)

H - Reservatório de água; a descarga do extravasor se faz diretamente na coluna da bacia sanitária, permitindo que as emanações retornem ao interior do reservatório, podendo contaminar a água, que será utilizada para alimentação.

J - Cisterna de águas pluviais no subsolo, comunicando com o esgoto, pela tubulação de extravazão.

K - Condutor de águas pluviais; o ar viciado da cisterna subterrânea sobe por esta tubulação e entra pela janela.

M - Coletor predial, comunicando-se com o coletor público; juntas mal executadas, ligação defeituosa com o tubo de queda da bacia sanitária e a declividade é insuficiente para o escoamento.

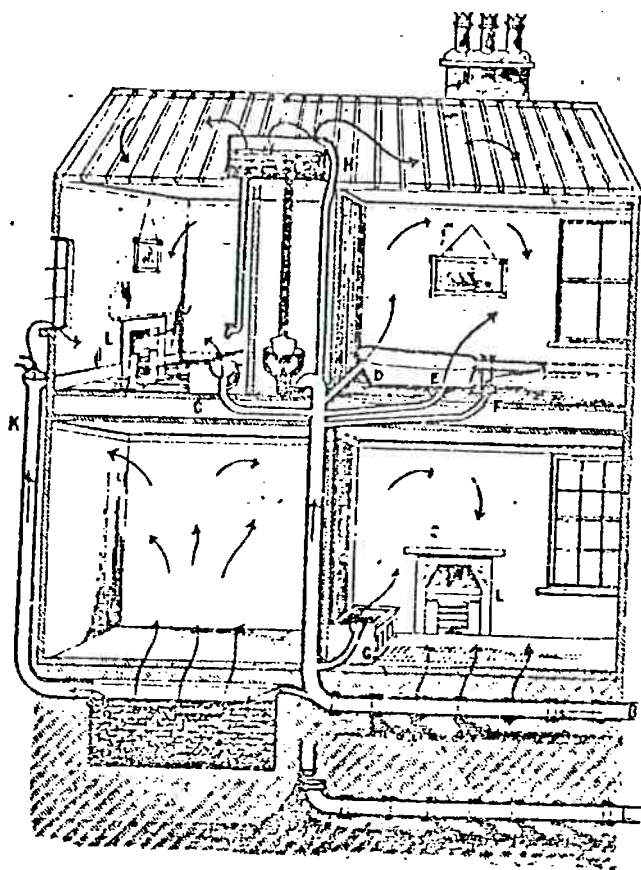


Figura 3 - Instalação predial de esgotos sanitários típica - Inglaterra, 1881.

N - Tubo de queda da bacia sanitária, instalado externamente ao edifício, e ventilado por tubulação de ventilação longe das aberturas de janelas e chaminés.

B - Tubulação de escoamento de esgoto, totalmente fora da área construída da edificação.

C, D, E e F - Tubos de descarga da banheira e do lavatório, providos de sifão.

G - Tubulação de descarga da pia de cozinha provida de sifão; estes 5 tubos (C, D, E, F e G) descarregam em caixa sifonada L.

H - Extravasador da caixa de água, conduzindo para fora da edificação.

K - Coluna de águas pluviais desaguando na caixa sifonada L, externa à edificação.

M - Reservatório superior, distinto do reservatório que atende à bacia sanitária.

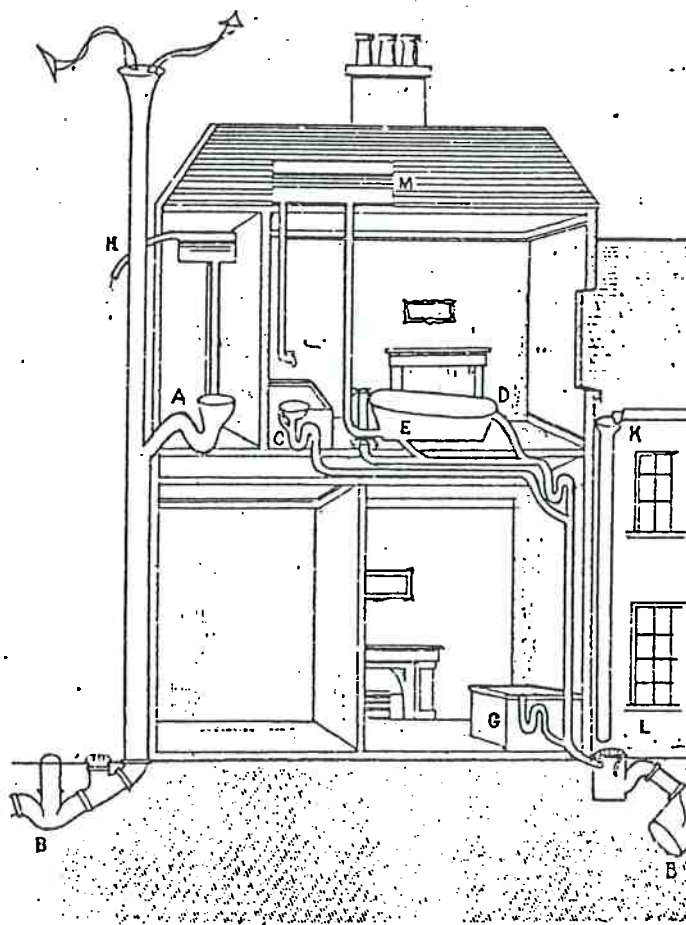


Figura 4 - Instalação predial de esgotos sanitários recomendada pelo Dr. Teale - Inglaterra, 1881.

Passemos, a seguir, à evolução dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, desde o fim do século passado, até os dias atuais.

## 5.2 Sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários

Como vimos anteriormente, os sistemas utilizados em meados do século passado tinham características semelhantes (um único tubo de queda sem ventilação). Já no fim do século passado e no início deste século, os sistemas americanos (um único tubo de queda totalmente ventilado) e os sistemas ingleses (dois tubos de queda, com ventilação parcial) tinham características e conceitos totalmente distintos.

Tendo em vista que apenas nos anos 1930 os ingleses reconheceram que os sistemas americanos apresentavam uma série de vantagens, e que a partir daí começaram a adotá-las. Apresentaremos a evolução dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, neste século, a partir dos primeiros sistemas ingleses.

### 5.2.1 Sistema de quedas separadas

O primeiro sistema utilizado na Inglaterra foi o sistema de quedas separadas ("two pipe system"), conforme figuras 4 e 5.

Este sistema é caracterizado por distinguir as águas provenientes das descargas de bacias sanitárias, das águas provenientes das descargas dos outros aparelhos sanitários. Verifica-se que o sistema funcionava adequadamente para edifícios de pequena altura (2 andares).

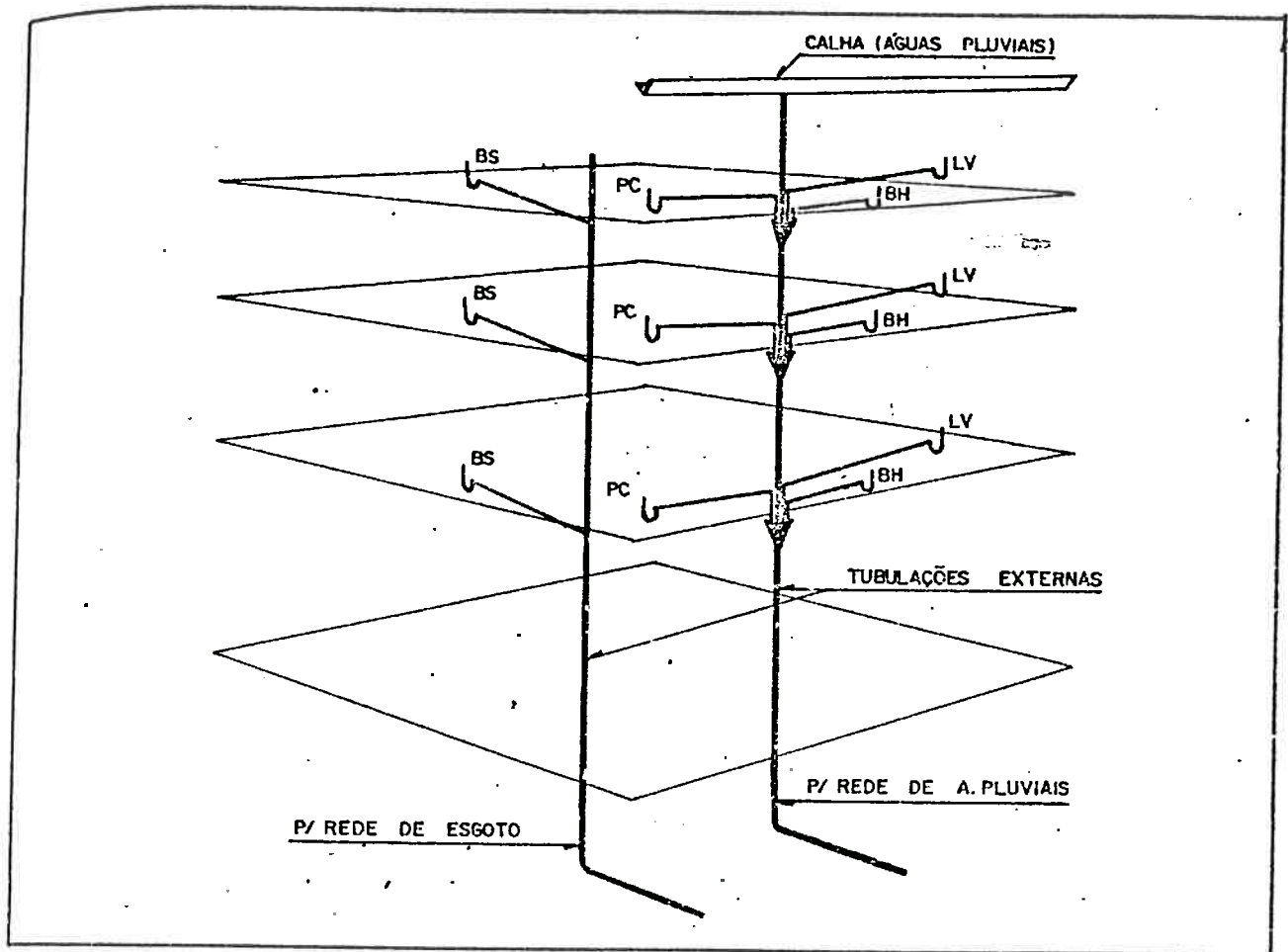


Figura 5 - Sistema de quedas separadas.

O tubo de queda primário atendia às bacias sanitárias, e era ventilado em sua parte superior.

O tubo de queda secundário atendia aos outros aparelhos sanitários, recebendo também os efluentes pluviais provenientes da cobertura. Nenhum elemento ligado ao tubo de queda secundário era ventilado por ramal de ventilação, muito embora os receptáculos atuassem como dispositivos de ventilação.

Este sistema foi utilizado até por volta de 1900, quando o Conselho do Condado de Londres tornou obrigatória a colocação de tubulação de ventilação, com ramais de ventilação, quando mais do que uma bacia sanitária fosse ligada a um mesmo tubo de queda.

### 5.2.2 Sistema de quedas separadas com ventilação das bacias sanitárias

Como foi dito acima, a partir de 1900, o tubo de queda, que recebe os efluentes das bacias sanitárias, passou a ter os ramais ventilados por ramais de ventilação, interligados à coluna geral de ventilação, conforme figura 6.

Note-se que a ligação do ramal de ventilação ao ramal de descarga das bacias sanitárias devia ser feita entre 7,5cm (3") e 30cm (12") do sifão. A coluna e os ramais de ventilação tinham diâmetro mínimo de 50mm (2").

Segundo Croft [38], com o aumento do número de andares dos edifícios, a interligação entre o sistema de esgotos sanitários e de águas pluviais provocava uma série de problemas, como por exemplo, o ruído excessivo. Assim, o sistema de quedas separadas com ventilação das bacias sanitárias, tornava-se inadequado.

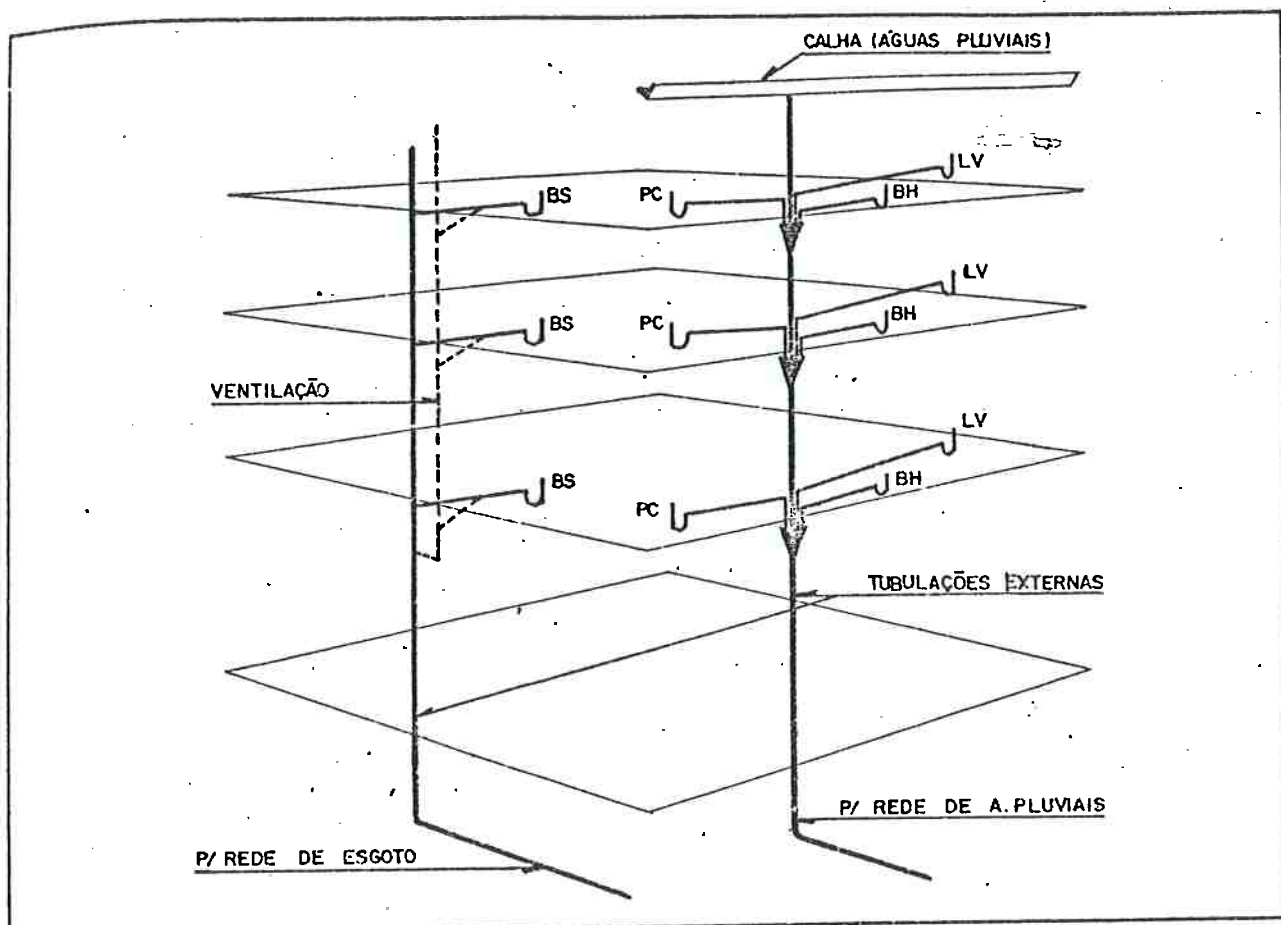


Figura 6- Sistema de quedas separadas com ventilação das bacias sanitárias.

### 5.2.3 Sistema de quedas separadas totalmente ventilado

O sistema de quedas separadas totalmente ventilado aparece em substituição ao de quedas separadas com ventilação das bacias sanitárias, em função do acima exposto. As características deste sistema são apresentadas na figura 7.

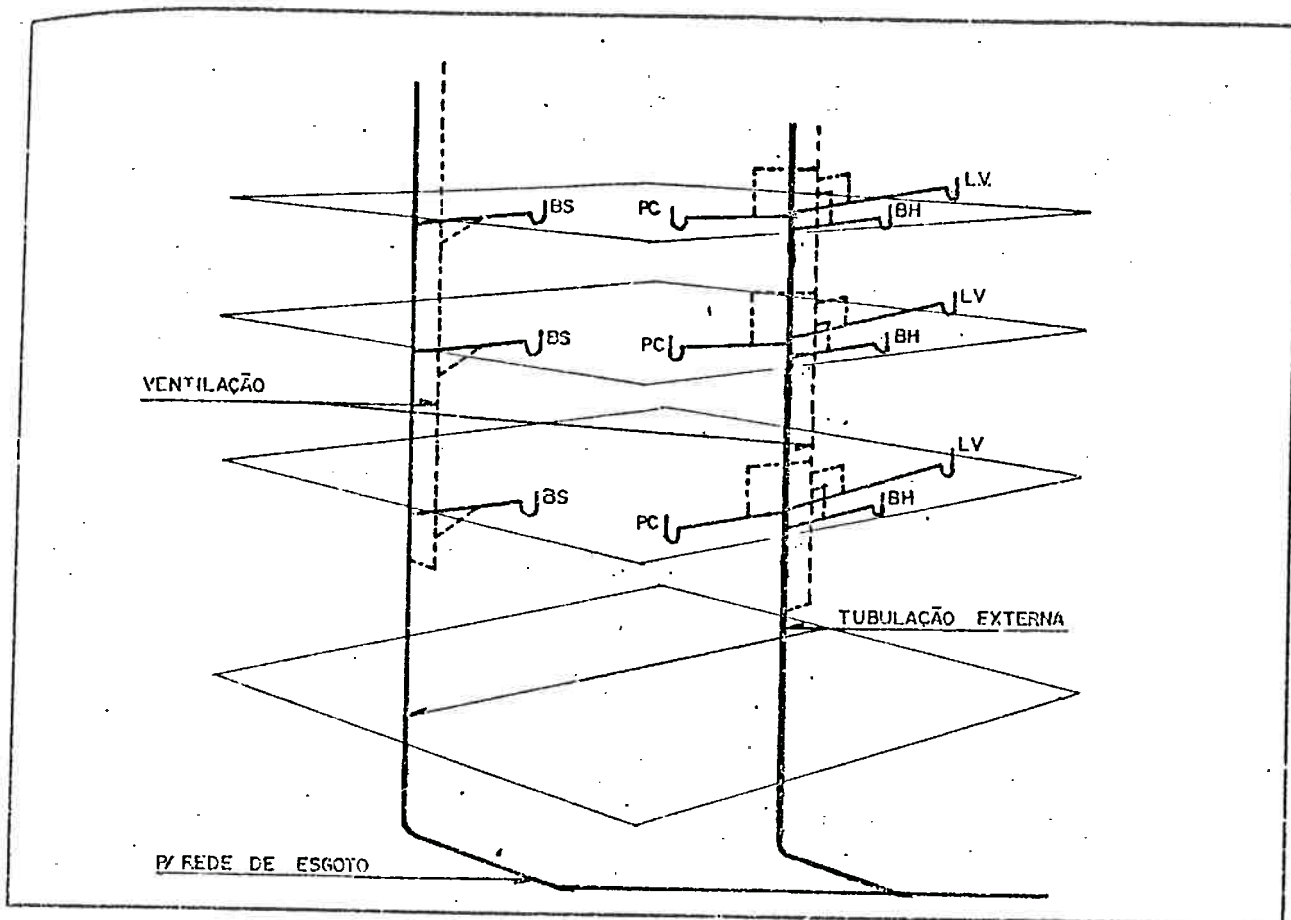


Figura 7 - Sistema de quedas separadas totalmente ventilado.

Assim este sistema era unicamente de esgotos sanitários, e não misto esgotos sanitários / águas pluviais, como os anteriormente mencionados.

Uma vantagem adicional da aplicação deste sistema era que, com a eliminação dos receptáculos de fachada ("hopper head" ou "air break"), tornou-se possível a execução das instalações de esgotos sanitários no interior das edificações.

verificou-se, entretanto, que a aplicação deste sistema acarretava custos excessivos, devido à grande quantidade de tubulações utilizadas; para cada ambiente sanitário utilizavam-se dois tubos de queda e duas colunas de ventilação, além de todos os ramais de ventilação.

#### 5.2.4 Sistema de quedas separadas por tipo de aparelho sanitário

Como alternativa para a solução do problema econômico, advindo da aplicação do sistema de quedas separadas totalmente ventilado, foi proposto outro sistema onde cada tipo de aparelho sanitário era atendido por um tubo de queda, próximo a este, sem a necessidade de colunas de ventilação. Este sistema denominou-se sistema de quedas separadas por tipo de aparelho sanitário. A figura 8 apresenta as características deste sistema.

A instalação de tubos de queda separados, para cada tipo de aparelho, podia permitir a supressão das colunas de ventilação. A vantagem econômica da utilização deste sistema reside na eliminação dos ramais de ventilação e na eventual diminuição de tubulações, quando os aparelhos sanitários não fossem instalados de forma concentrada.

Mesmo assim, este sistema não levava a uma economia que justificasse a sua ampla utilização. Assim em 1933, segundo Wise [16], foi reintroduzido na Inglaterra o sistema de queda única, agora totalmente ventilado.



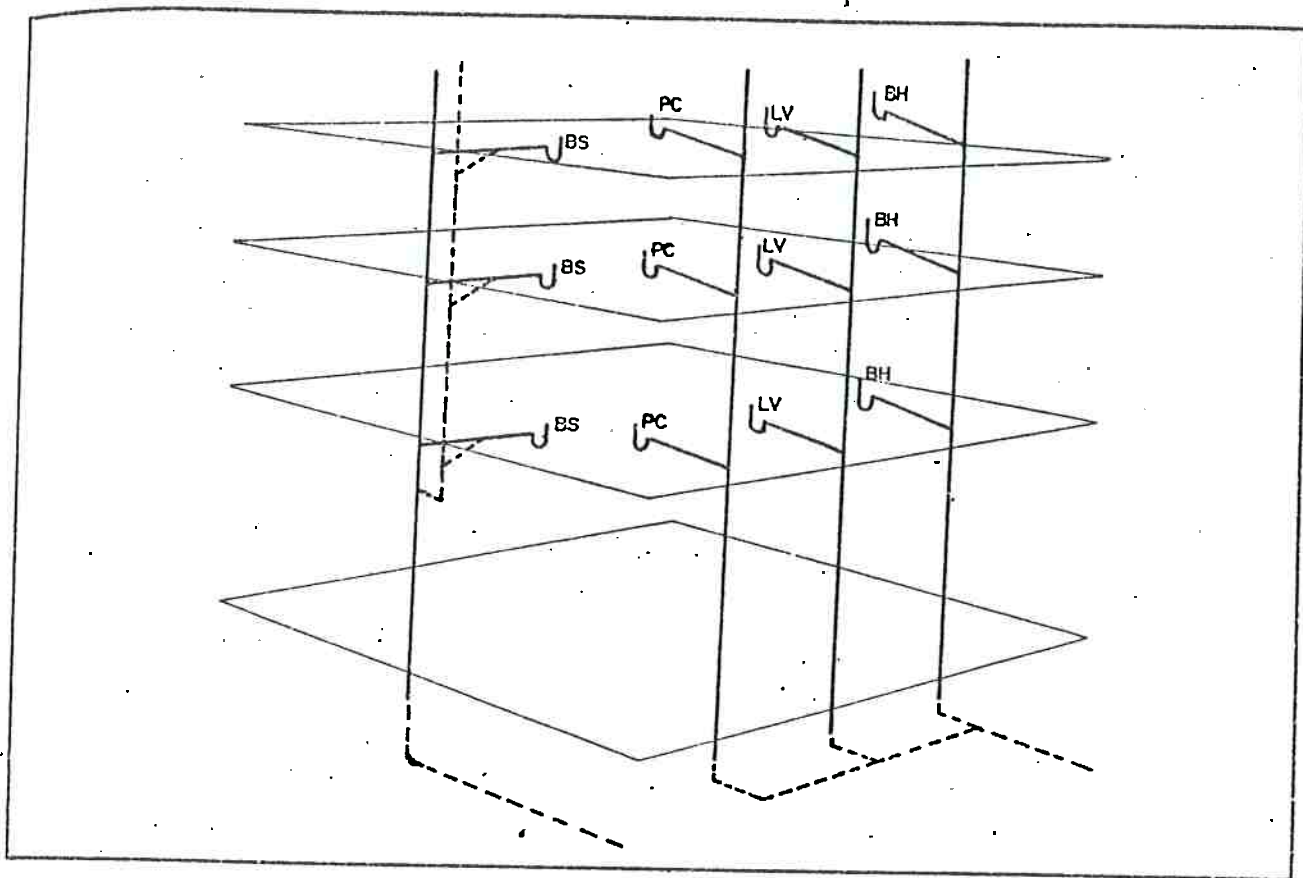


Figura 8 - Sistema de quedas separadas por tipo de aparelho sanitário.

#### 5.2.5 Sistema de queda única totalmente ventilado

O sistema de queda única totalmente ventilado ("Fully ventilated one pipe system") era constituído de um único tubo de queda, que recebia os efluentes de todos os aparelhos sanitários, inclusive das bacias sanitárias, e uma coluna de ventilação independente que se interligava aos ramais de descarga dos aparelhos através de ramais de ventilação.

Este sistema já era empregado com sucesso, nos Estados Unidos desde 1874, como mencionamos anteriormente. A figura 9 apresenta, esquematicamente, o sistema de queda única totalmente ventilado.

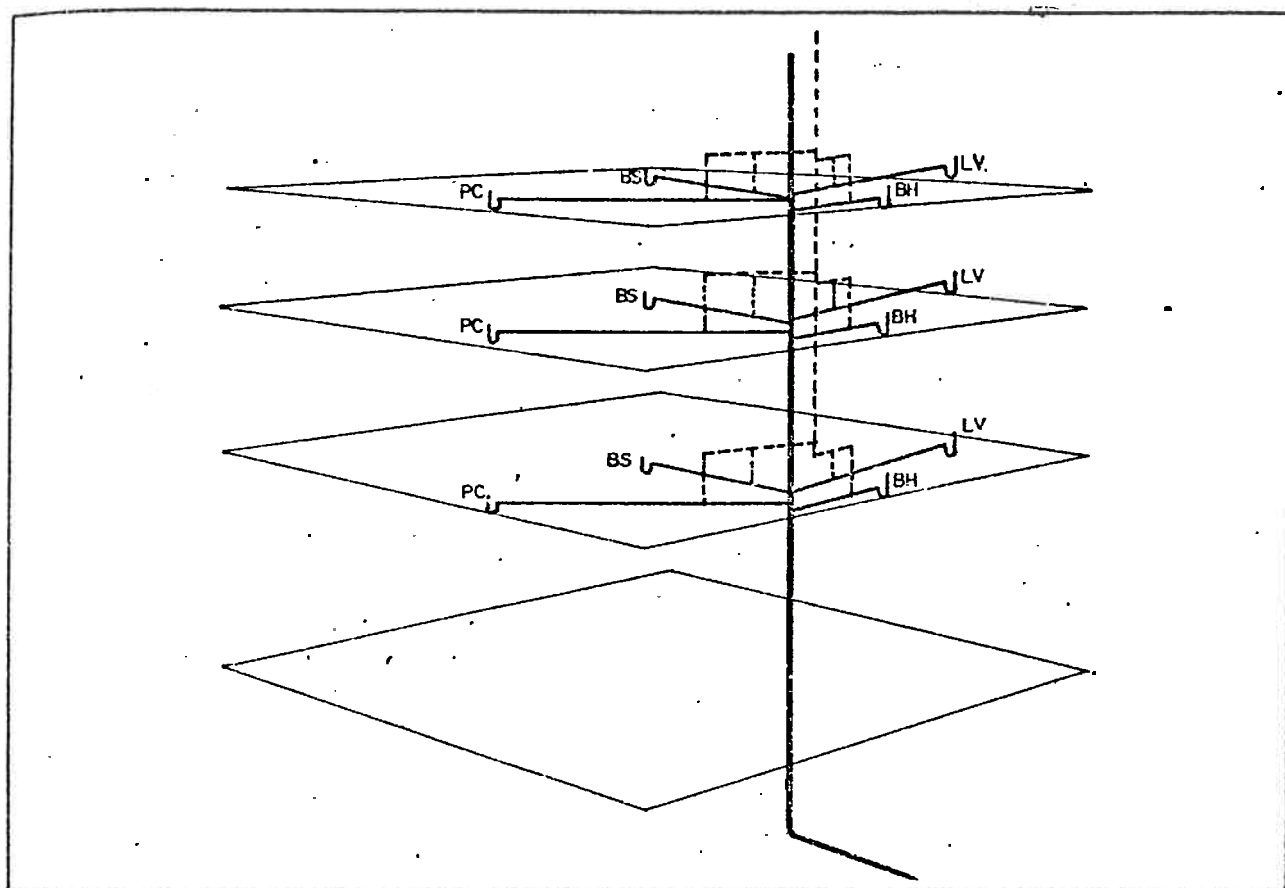


Figura 9 - Sistema de queda única totalmente ventilado.

Segundo Wise [16], este sistema apresentava uma série de vantagens, quando comparado ao sistema de quedas separadas. Uma das vantagens apontadas relacionava-se ao fato de que o sistema poderia conduzir, tanto a água fria quanto a água quente, e com isso, reduzir a possibilidade da ocorrência de depósitos nas tubulações, pois a água quente exercia ação sobre materiais incrustados.

Na Inglaterra este sistema passou a ser utilizado para edifícios com vários pavimentos, mantendo-se também, a utilização do sistema de quedas separadas para residências e edificações de pequena altura.

Como mencionamos anteriormente, o sistema de queda única totalmente ventilado foi utilizado pelos ingleses a partir de 1933, muito embora não existisse consenso entre os militantes na área, o que os levou a adotar as seguintes medidas complementares:

- aumentar de 40mm (1 1/2") para 75mm (3") o fecho hidrico de todos os aparelhos, exceto o das bacias sanitárias que se mantiveram com 50mm (2").
- manter a ventilação individual em todos os sifões, com distância de 7,5cm (3") a 30cm (12") entre o ramal de ventilação e o fecho hidrico a proteger.

Entretanto, a busca de sistemas mais econômicos tornou-se evidente a partir da década de 1950.

#### 5.2.6 Sistema de queda única

Na reconstrução após a 2a. Guerra Mundial, na Inglaterra, as autoridades solicitaram ao BRS ("Building Research Station") a elaboração de pesquisas no sentido de se procurar a melhoria e a economia dos sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários.

Como um dos resultados destas pesquisas, visualizou-se a possibilidade da eliminação das colunas e ramais de ventilação, em alguns casos, mantendo-se o sistema ventilado apenas pelo prolongamento do tubo de queda principal. A este sistema denominamos sistema de queda única ("Single Stack System"). A figura 10 apresenta, esquematicamente, o sistema de queda única.

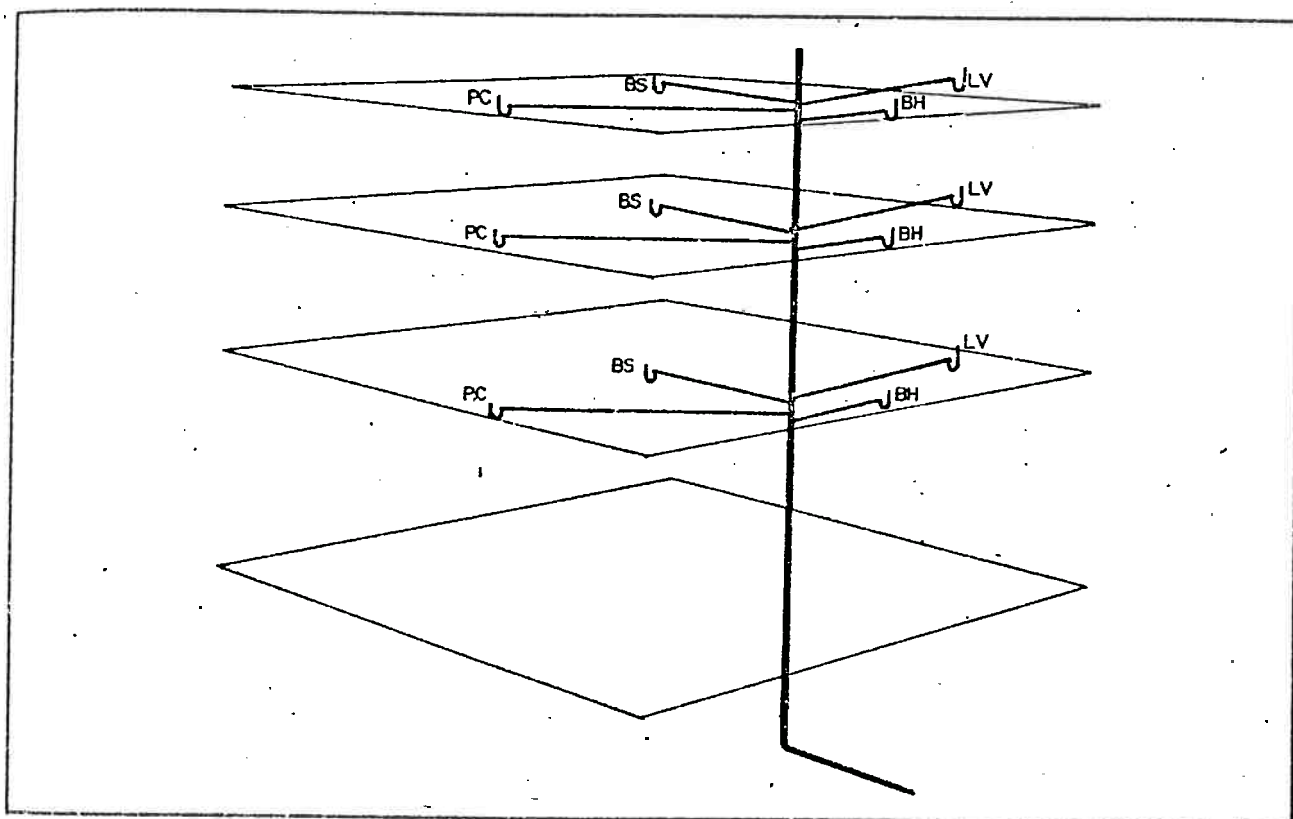


Figura 10 - Sistema de queda única.

Cabe salientar que, segundo Wise [39], historicamente, a primeira idéia de eliminar a coluna de ventilação é anterior à 2a. Guerra Mundial. Uma instalação deste tipo foi executada em 1934, para um edifício de 6 pavimentos em Marylebone. Durante a construção

deste edifício o Dr. C. Porter, médico e o Sr. F. G. Cook decidiram eliminar a coluna de ventilação e respectivos ramais que se interligavam a um tubo de queda atendendo uma banheira, uma pia de cozinha e uma bacia sanitária, em cada pavimento, a fim de obter resultados comparativos com o sistema de queda única totalmente ventilado. Verificações efetuadas neste edifício, após 14 anos de funcionamento, mostraram que o sistema de esgotos sanitários não apresentava inconvenientes que pudessem contraindicar a sua utilização.

Os primeiros resultados das pesquisas desenvolvidas pelo BRS foram publicados em 1954 [31], [40]. No início de sua utilização prática, o sistema de queda única era recomendado somente para edifícios de pequena altura, onde o conjunto de aparelhos sanitários, atendidos pelo tubo de queda, se encontrava nas proximidades do mesmo, sendo necessária a ligação direta dos ramais de descarga de cada aparelho ao tubo de queda.

Com o aprimoramento dos processos executivos na indústria da Construção Civil, edifícios com grande número de pavimentos começaram a surgir. Conseqüentemente, a aplicação do sistema de queda única para esses casos tornou-se inviável.

Com o avanço das pesquisas na área, um maior conhecimento do comportamento hidráulico e pneumático, dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, possibilitou a verificação de que com o aumento dos diâmetros do tubo de queda, o sistema de queda única poderia ser aplicado em edifícios com um número maior de

pavimentos. Entretanto, a aplicação deste sistema em edifícios altos ficava sujeita a uma série de condições, entre elas:

- proximidade dos aparelhos sanitários ao tubo de queda;
- necessidade de espaços maiores para alojar tubos de queda com diâmetros elevados;
- análise de custo do sistema, pois os custos gerados pelo aumento dos diâmetros dos tubos de queda podem ser superiores aos custos verificados com a adoção de uma rede de ventilação.

Desta forma, estudos foram desenvolvidos, visando o aperfeiçoamento dos sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários em edifícios altos, baseados nas condicionantes acima enunciadas.

#### 5.2.7 Sistemas de queda única modificados

Conforme exposto acima, novas configurações de sistemas foram desenvolvidas, visando a aplicação a edifícios altos, e basicamente enfocando aspectos econômicos.

Temos assim, os seguintes sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários:

- sistema de queda única modificado, com ventilação do ramal de descarga da bacia sanitária.

Este sistema é internacionalmente conhecido como "Modified One Pipe System". Segundo Howick [41], o sistema é similar ao sistema de queda única, com exceção ao fato de que as bacias sanitárias eram ventiladas diretamente da coluna de ventilação. A figura 11 apresenta o sistema, de forma esquemática.

Restrições quanto ao comprimento e declividade dos ramais dos lavatórios, banheiras e pias de cozinha devem ser consideradas, relativas à ação ativa das descargas destes aparelhos na perda dos fechos hidricos dos próprios sifões. Todos os fechos hidricos deveriam ser de 75mm (3"), exceto o da bacia sanitária com 50mm (2").

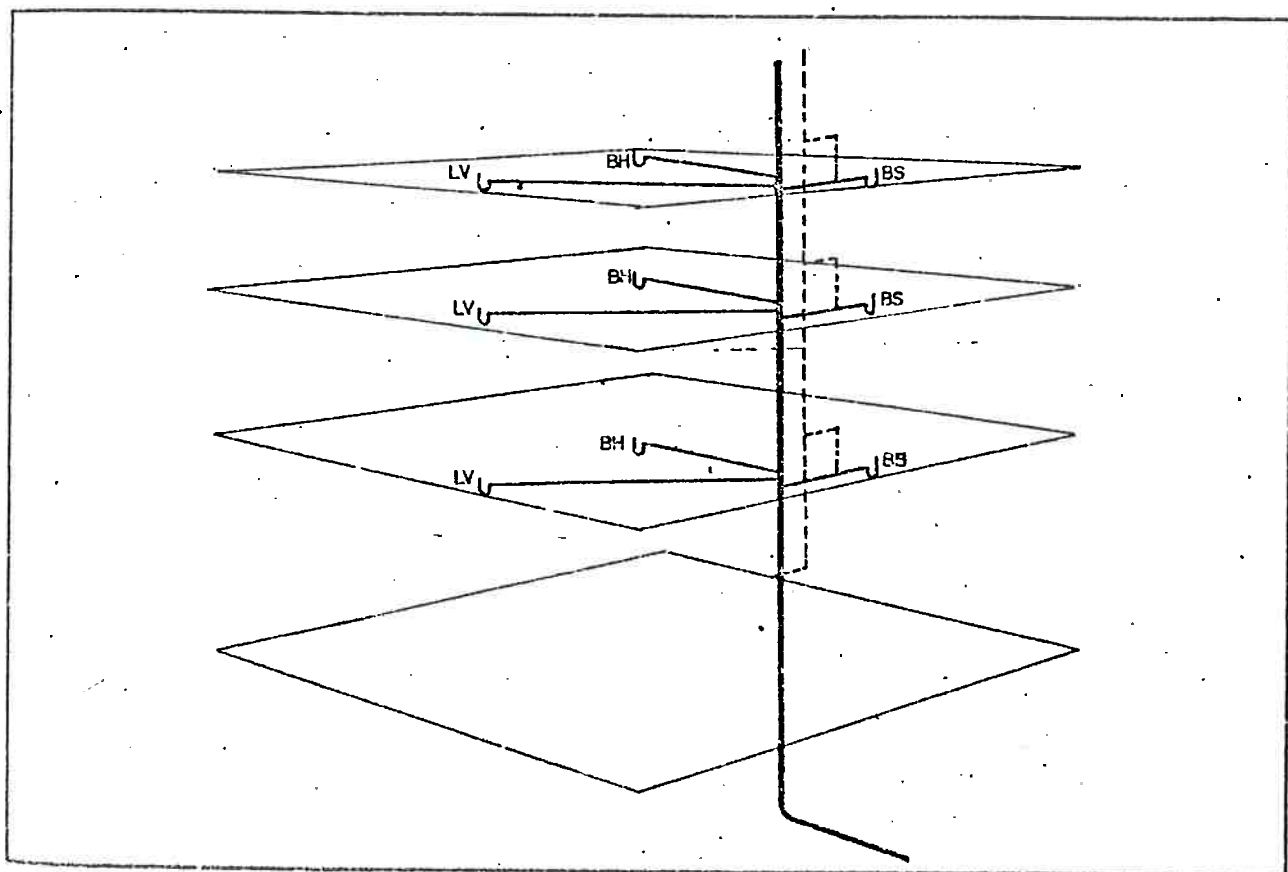


Figura 11 - Sistema de queda única modificado, com ventilação das bacias sanitárias.

- Sistema de queda única modificado, com ventilação do tubo de queda

Com a finalidade de simplificar, ainda mais, os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, foi desenvolvido o sistema de queda única, em que a coluna de ventilação é conectada diretamente ao tubo de queda. As ligações entre o tubo de queda e a coluna de ventilação podem ser realizadas em cada pavimento ou em pavimentos alternados, conforme figura 12.

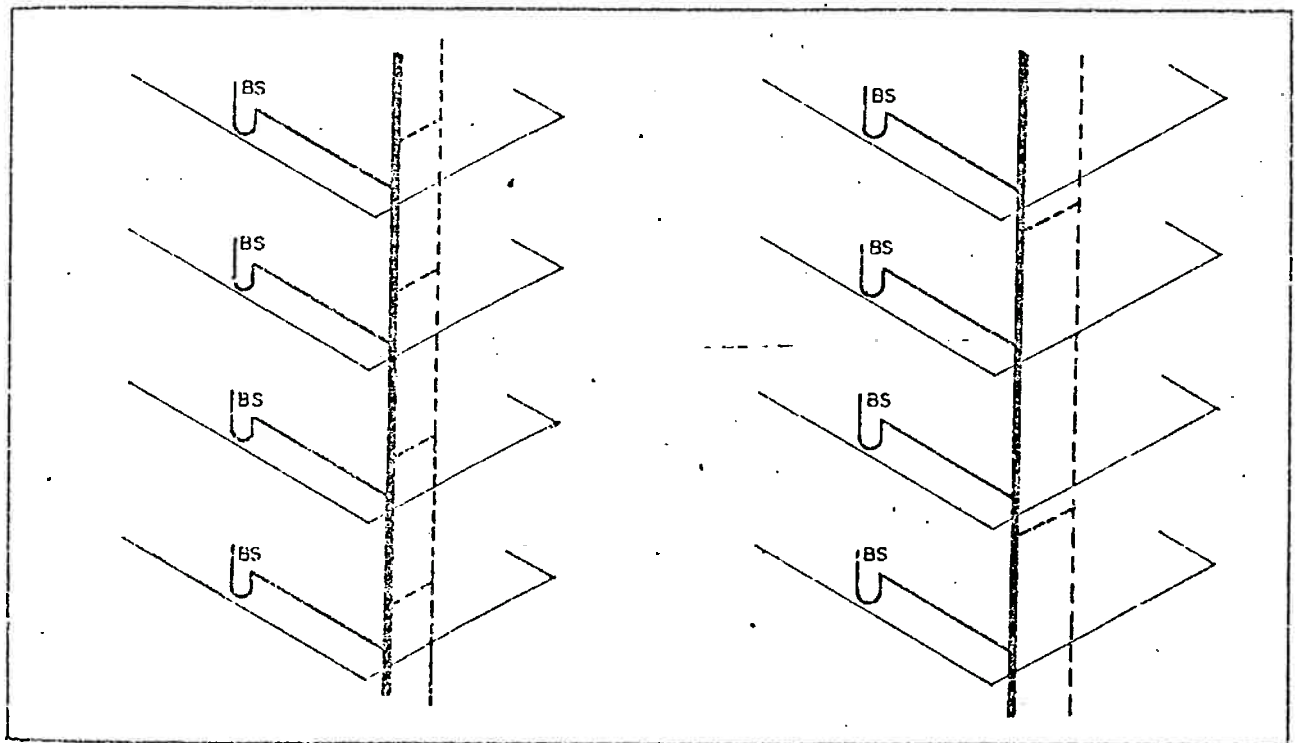


Figura 12 - Sistema de queda única modificado, com ventilação do tubo de queda.



- Sistema de queda única modificado, com ventilação complementar de ramais longos

Este sistema, também conhecido como "Modified Single Stack System", é constituído de um único tubo de queda, comportando-se como o sistema de queda única, descrito em 5.2.6. Entretanto, quando a condição de proximidade de todos os aparelhos sanitários ao tubo de queda não é observada, há necessidade de ventilação complementar.

Esta ventilação é efetuada através de coluna de ventilação, localizada próxima ao aparelho sanitário, cujas características do ramal sejam tais, que a ação sifônica da descarga do próprio aparelho possa acarretar perda do fecho hidrôico de seu sifão. A figura 13 apresenta, esquematicamente, este sistema.

Os sistemas apresentados, nos itens 5.2.1 a 5.2.7, refletem o progresso tecnológico da engenharia de instalações hidráulicas prediais. Entretanto, o sistema de queda única totalmente ventilado é o mais difundido, pois, ainda hoje, a maioria das normas internacionais prescrevem a utilização deste sistema.

No entanto, não poderíamos deixar de apresentar alguns novos sistemas, desenvolvidos a partir da década de 1960, que têm sido introduzidos em outros países.

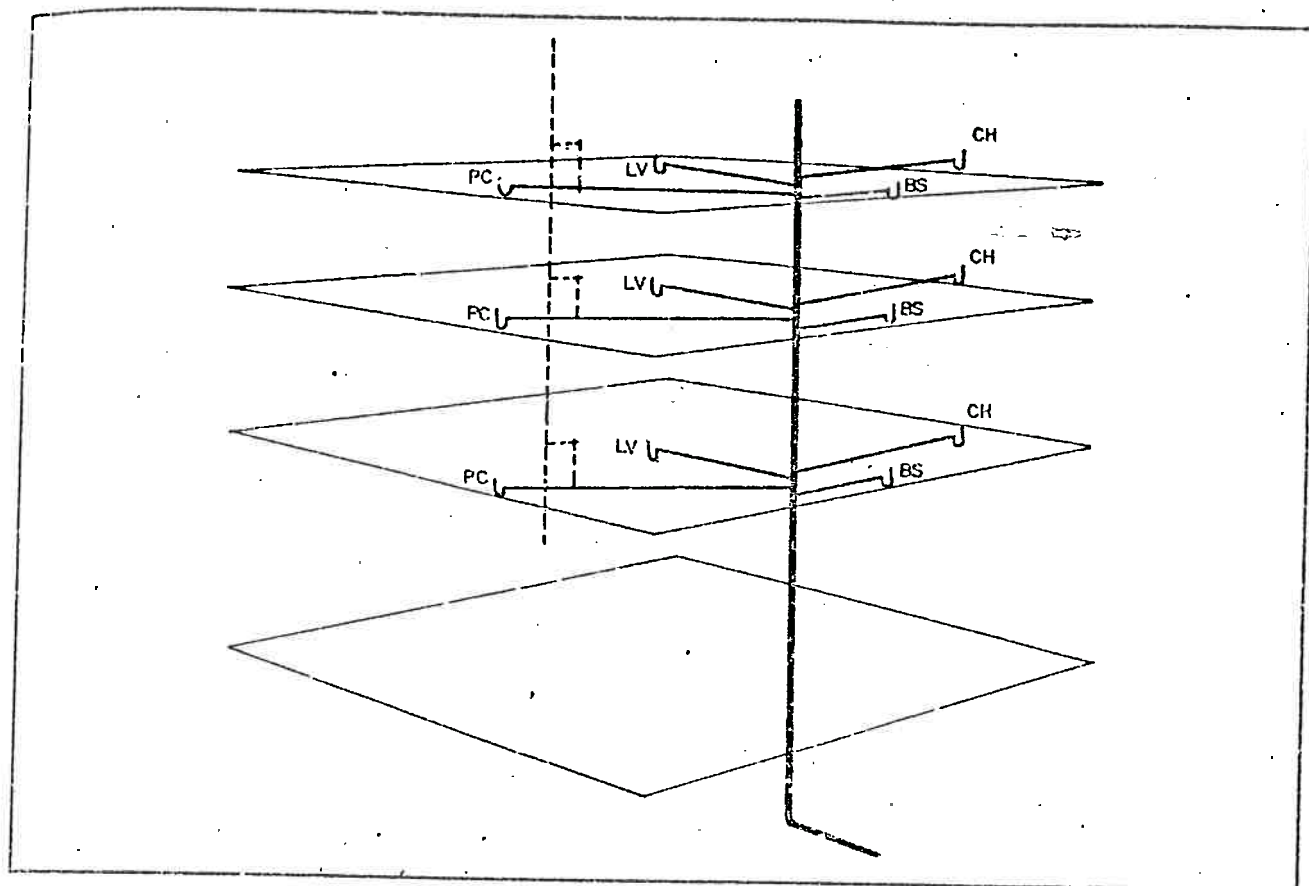


Figura 13 - Sistema de queda única modificado, com ventilação complementar de ramais longos.

#### 5.2.8 Sistema de queda única com dispositivos de aeração e deseração

Este sistema foi desenvolvido, em Berna, Suíça, pelo professor Fritz Sommer no ano de 1959 [42], [43] e [44]. O sistema, também chamado de "SOVENT SYSTEM", ("SOil stack and VENT") é constituído por um único tubo de queda ("DWV - Drainage, Waste, Vent"), que recebe as descargas de todos os aparelhos sanitários, tendo em cada pavimento um dispositivo de conexão (aerador) de todos os ramais de descarga ao tubo de queda. Os aeradores têm as seguintes finalidades, no sistema:

- limitar as velocidades de ar e água no tubo de queda;
- eliminar a possibilidade de que, ocorra, nos tubos de queda, afogamento pela inserção das descargas dos ramais;
- permitir a aeração das águas usadas provenientes dos ramais;
- equilibrar as pressões hidrostáticas e pneumáticas ao longo do tubo de queda.

Nas mudanças de direção, de vertical para horizontal, dos tubos de queda, são instalados dispositivos denominados deaeradores. Os deaeradores têm a finalidade de:

- separar o ar da água;
- assegurar a suave transição do escoamento, do tubo de queda para o coletor horizontal;
- aliviar as pressões positivas que se estabelecem na região inferior do tubo de queda.

A figura 14 apresenta este sistema e o sistema de queda única totalmente ventilado. A figura 15 apresenta os dispositivos de aeração e deaeração, esquematicamente.

Este sistema foi utilizado pela primeira vez na Suíça, em 1961. A primeira instalação, na América do Norte, foi feita para a EXPO'67, exposição esta realizada em Montreal. Em seguida foi introduzido nos Estados Unidos, em um conjunto habitacional na Califórnia.

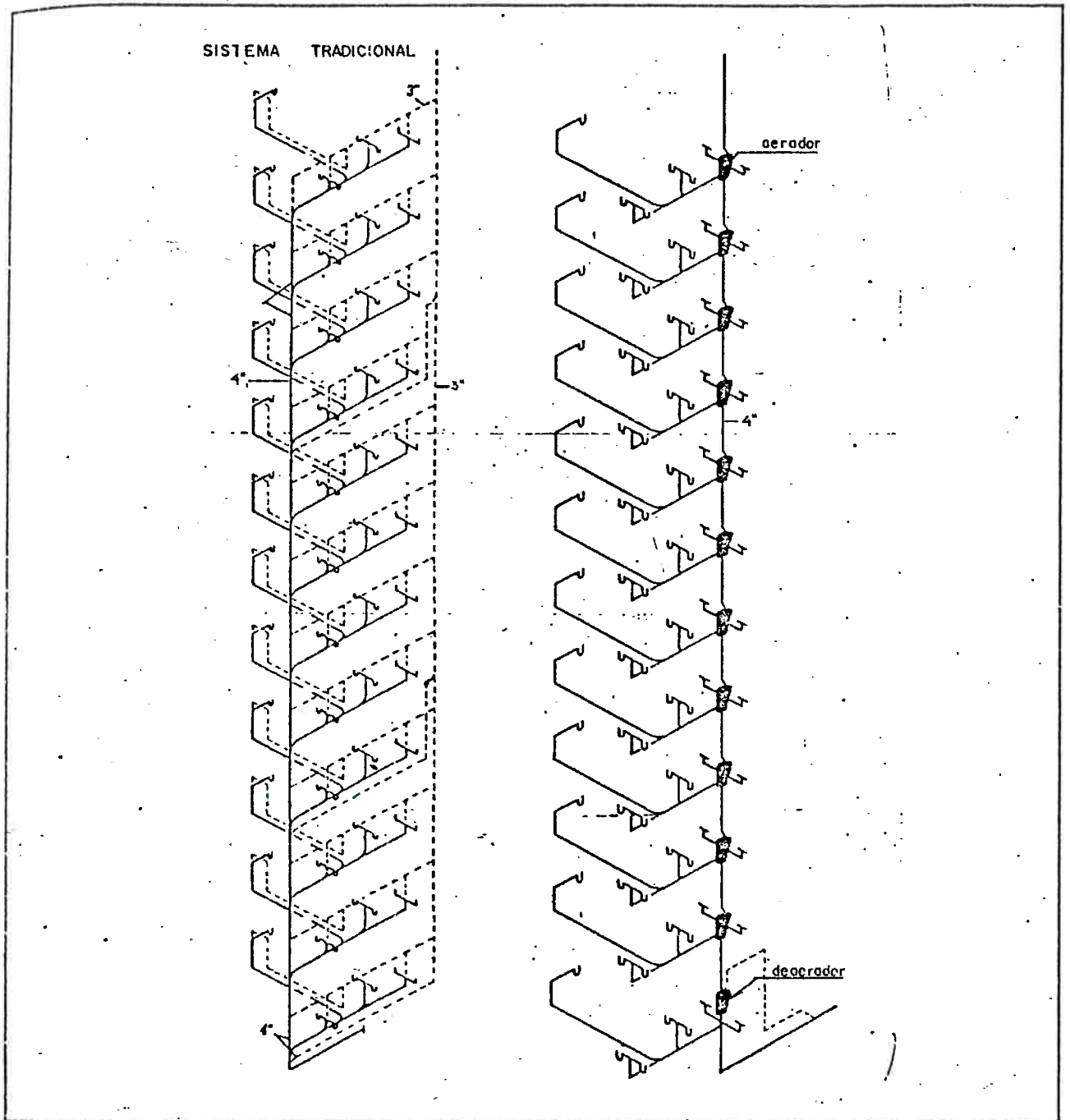


Figura 14 - Sistema de queda única com dispositivos de aeração e de-aeração.

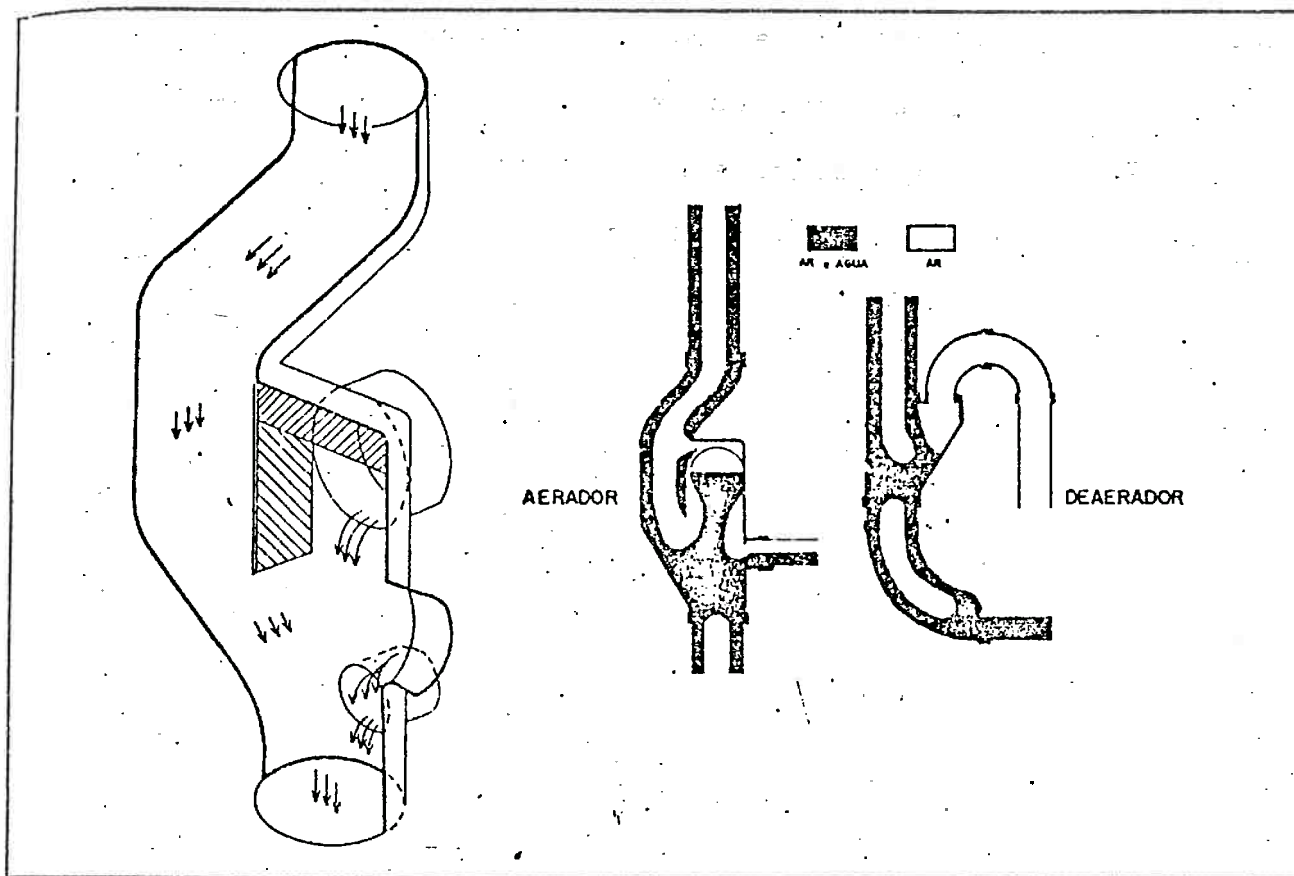


Figura 15 - Aerador e Deaerador - Esquemas.

Em nosso ponto de vista, o sistema de queda única com dispositivos de aeração e deaeração representa um papel significativo na evolução dos sistemas em questão. Podemos verificar a preocupação das empresas com a melhoria das instalações e, com a busca de soluções que evitem a utilização das redes prediais exclusivas, na ventilação do sistema de coleta de esgotos sanitários.

Assim, há que se considerar que, os sistemas inovativos tenderão cada vez mais a ocupar o lugar dos sistemas convencionais, pois, do que podemos depreender, já há, em muitos países, um esforço direcionado no sentido de se buscar soluções eficientes e económicas. Um bom exemplo do que colocamos, é o sistema que apresentaremos a seguir, desenvolvido, recentemente, na Suécia.

#### 5.2.9 Sistema Gustavsberg

O sistema Gustavsberg [45] representa, talvez, o mais novo conceito de sistema predial de coleta de esgotos sanitários. A introdução deste sistema, no mercado, é recente, datando do início da década de 1980.

O que caracteriza este sistema é o tratamento sistêmico dado ao sistema de equipamento sanitário e associado ao sistema de coleta dos esgotos sanitários, visando a economia de água de consumo e a economia da instalação propriamente dita.

O sistema Gustavsberg é constituído de:

- bacia sanitária com caixa acoplada, tendo volume de descarga variando entre 3 l e 3,5 l; na ligação entre a bacia sanitária e o ramal de descarga é instalado dispositivo diafragma com a finalidade de aumentar a capacidade de sifonagem desta bacia sanitária (ver figura 16).

- rede de dutos de PVC rígido, com diâmetros reduzidos devido à diminuição da vazão das bacias sanitárias; o sistema é similar ao sistema de queda única apresentado no item 5.2.6.

- sifão coletor, com a finalidade de acumular cerca de 20 l de água, permitindo assim a ação sifônica de volume suficiente para garantir a autolimpeza do coletor horizontal, pois a redução da vazão da bacia sanitária e a intermitência de seu uso prejudicariam o escoamento adequado dos esgotos sanitários, provocando eventuais obstruções (ver figura 16).

A criação deste sistema mostra, claramente, que a busca de alternativas, tendo em vista a redução da tubulação de ventilação, a economia da água e a redução de vazões, e conseqüente redução dos diâmetros das tubulações de coleta dos esgotos sanitários, pode ser viabilizada, sem prejuízo do desempenho do sistema hidráulico predial, como um todo.

Assim, os esforços de pesquisa, dirigidos no sentido de desenvolver sistemas cada vez mais adequados às necessidades dos usuários, devem, basicamente, dosar o aprofundamento do conhecimento tecnológico com a realidade regional e com o desenvolvimento da criatividade dos pesquisadores.

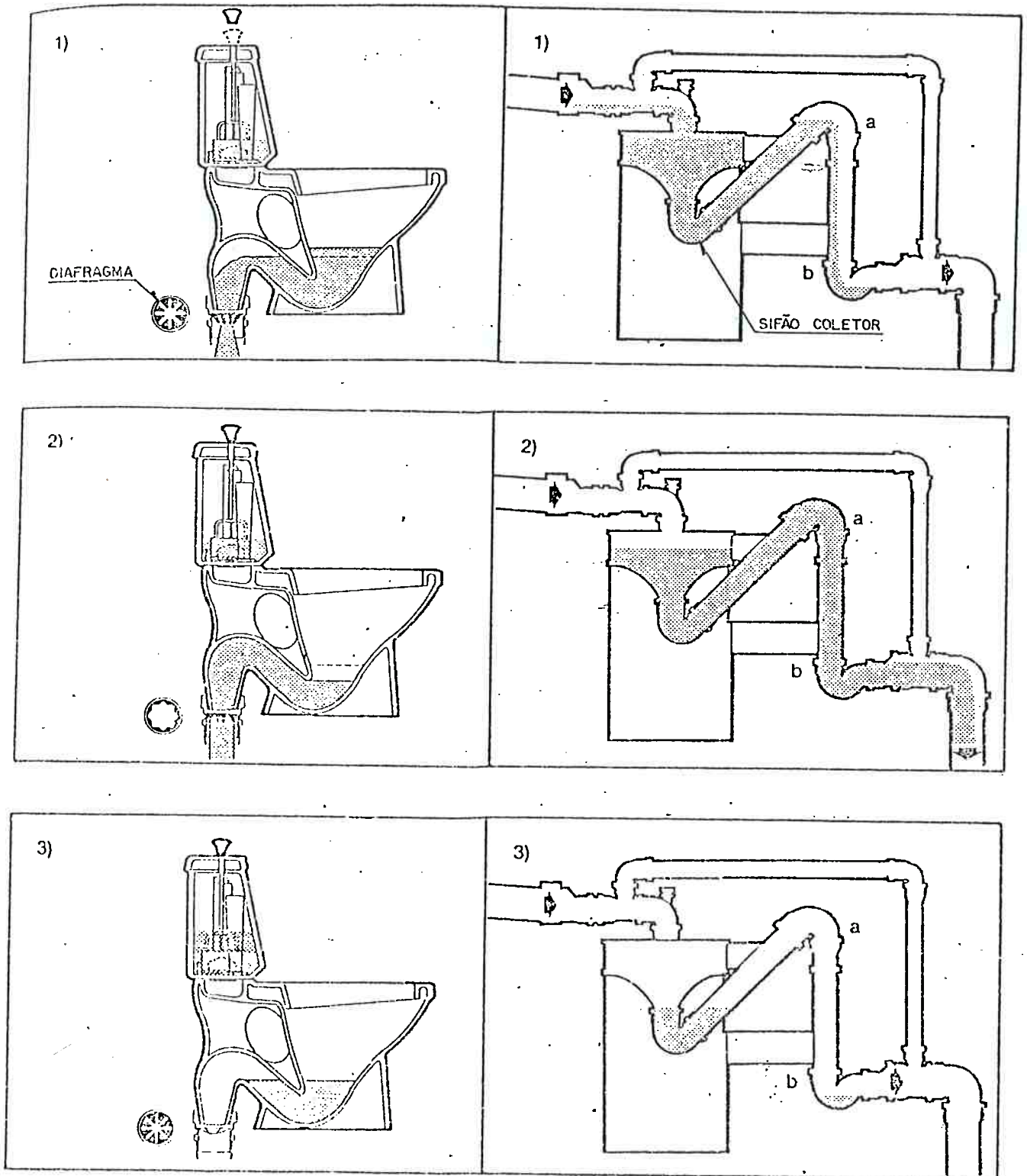


Figura 16 - Sistema Gustavsberg - Bacia sanitária e sifão coletor.



A figura 17 apresenta, esquematicamente, o sistema Gustavsberg.

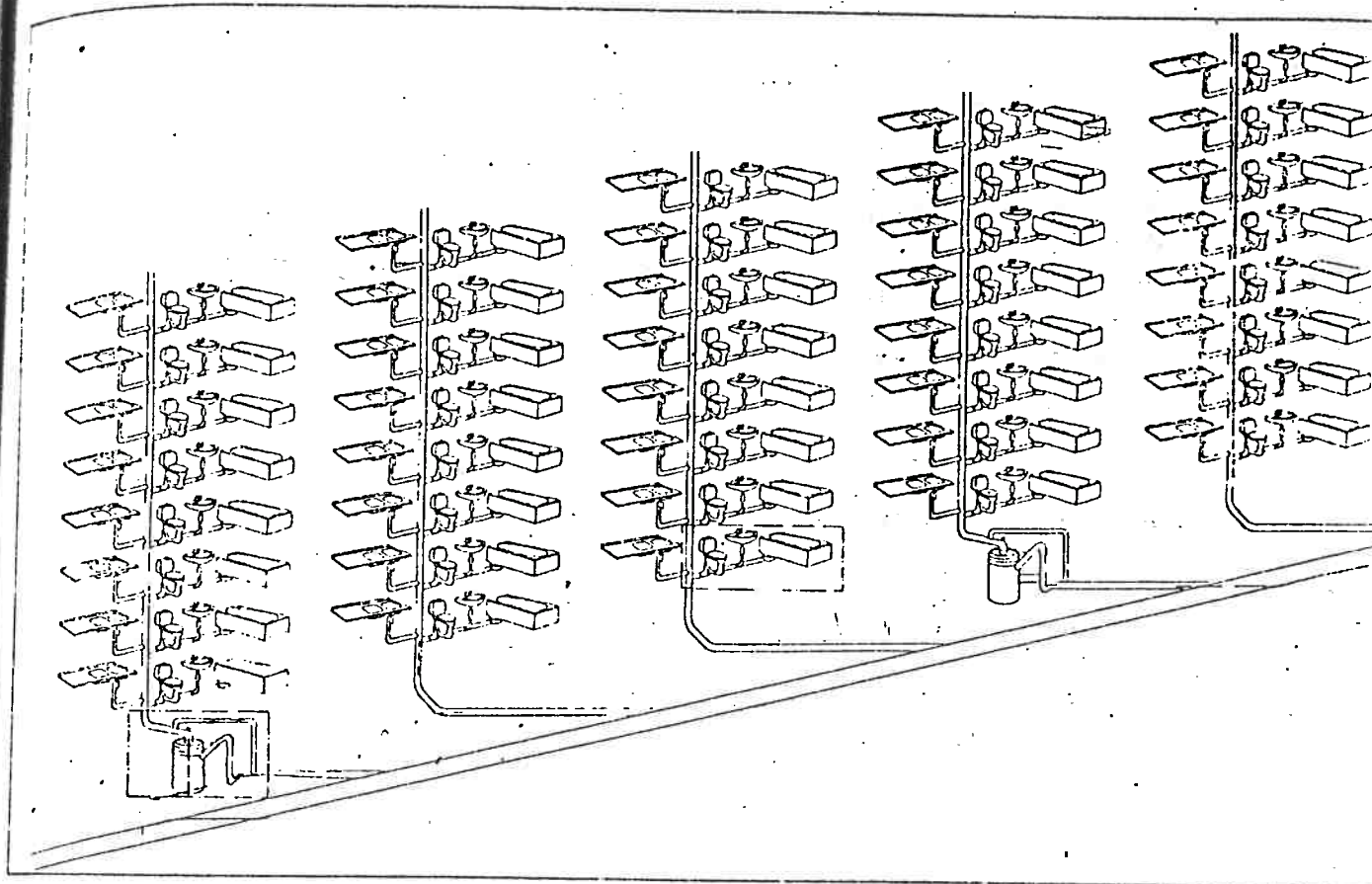


Figura 17 - Sistema Gustavsberg - esquema geral.

A seguir, apresentaremos os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários utilizados no Brasil.

### 5.3 Sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários usuais no Brasil

Os sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários utilizados no Brasil, são resultantes, em grande parte, da experiência desenvolvida nos Estados Unidos e na Inglaterra. Os sistemas usuais no Brasil, em princípio, não diferem, a nível conceitual, dos sistemas tradicionais apresentados no item 5.2.

Somente na década de 1950, foi elaborada a primeira norma brasileira sobre instalações prediais de esgotos sanitários - NB-19 [46].

Os sistemas caracterizados no texto desta norma eram os seguintes:

- sistema de queda única totalmente ventilado, apresentado em 5.2.5 (ver figura 18)..
- sistema de quedas separadas, onde os tubos de queda que coletavam os despejos provenientes de pias, lavatórios e tanques eram separados dos tubos de queda que coletavam os esgotos fecais.

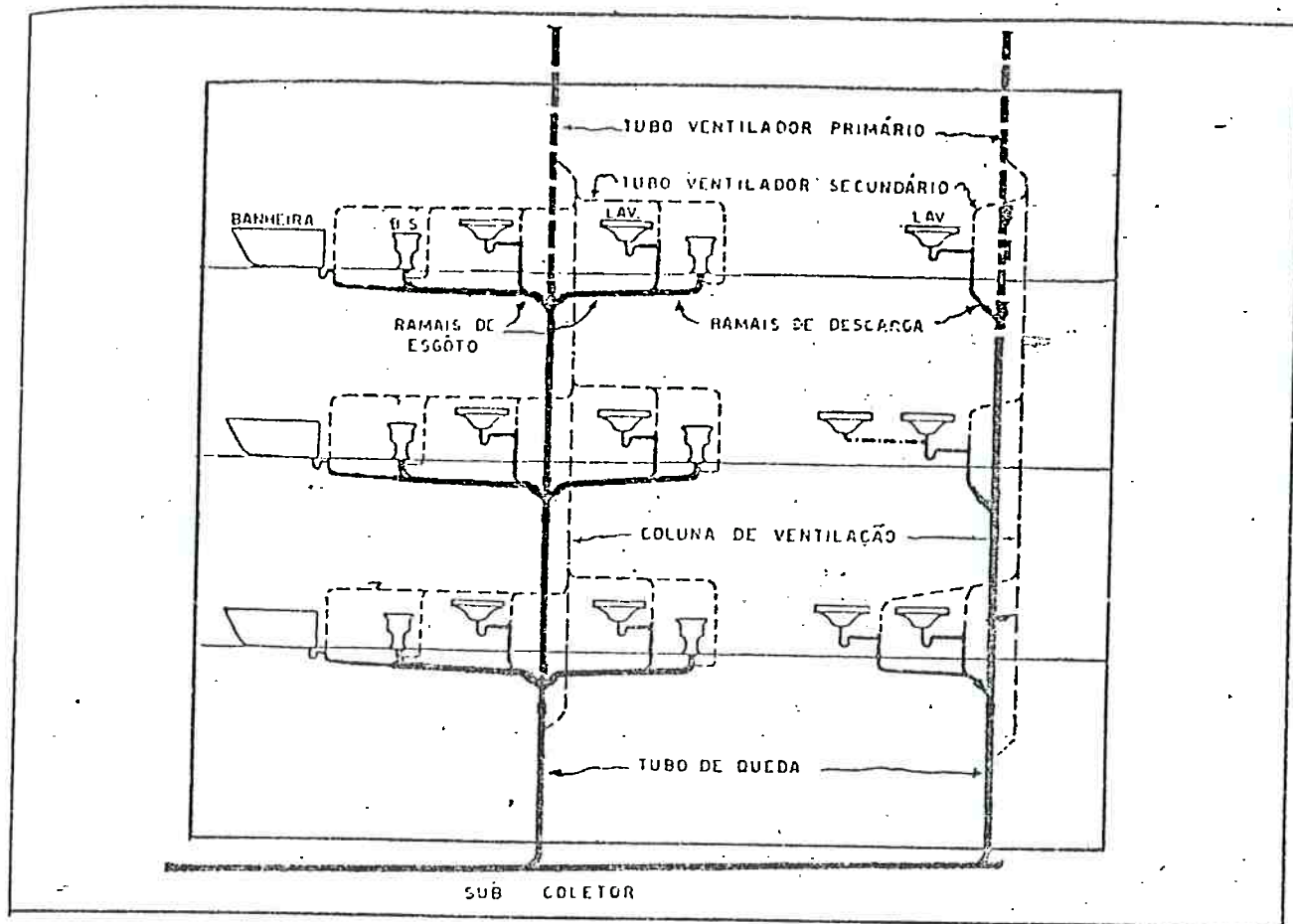


Figura 18 - Sistema de queda única totalmente ventilado utilizado no Brasil.

Um fato característico das instalações brasileiras merece destaque. A prática corrente na Inglaterra e nos Estados Unidos é de se instalar um sifão para cada aparelho sanitário, cujos ramais destinam-se diretamente ao tubo de queda, podendo receber contribuições de outros aparelhos (ver figura 19). A jusante de cada sifão instala-se um ramal de ventilação. No Brasil, é usual a prática de utilizar-se um dispositivo (caixa sifonada) provido de sifão, que permite a recepção dos efluentes de ramais de descarga de alguns aparelhos sanitários, tais como lavatórios,

bidões, ralos de chuveiro, etc. Neste caso, a ventilação fica reduzida, pois o ramal de ventilação é posicionado apenas a jusante desta caixa sifonada, não sendo necessária a instalação de sifões junto aos aparelhos sanitários atendidos por este dispositivo (ver figura 19).

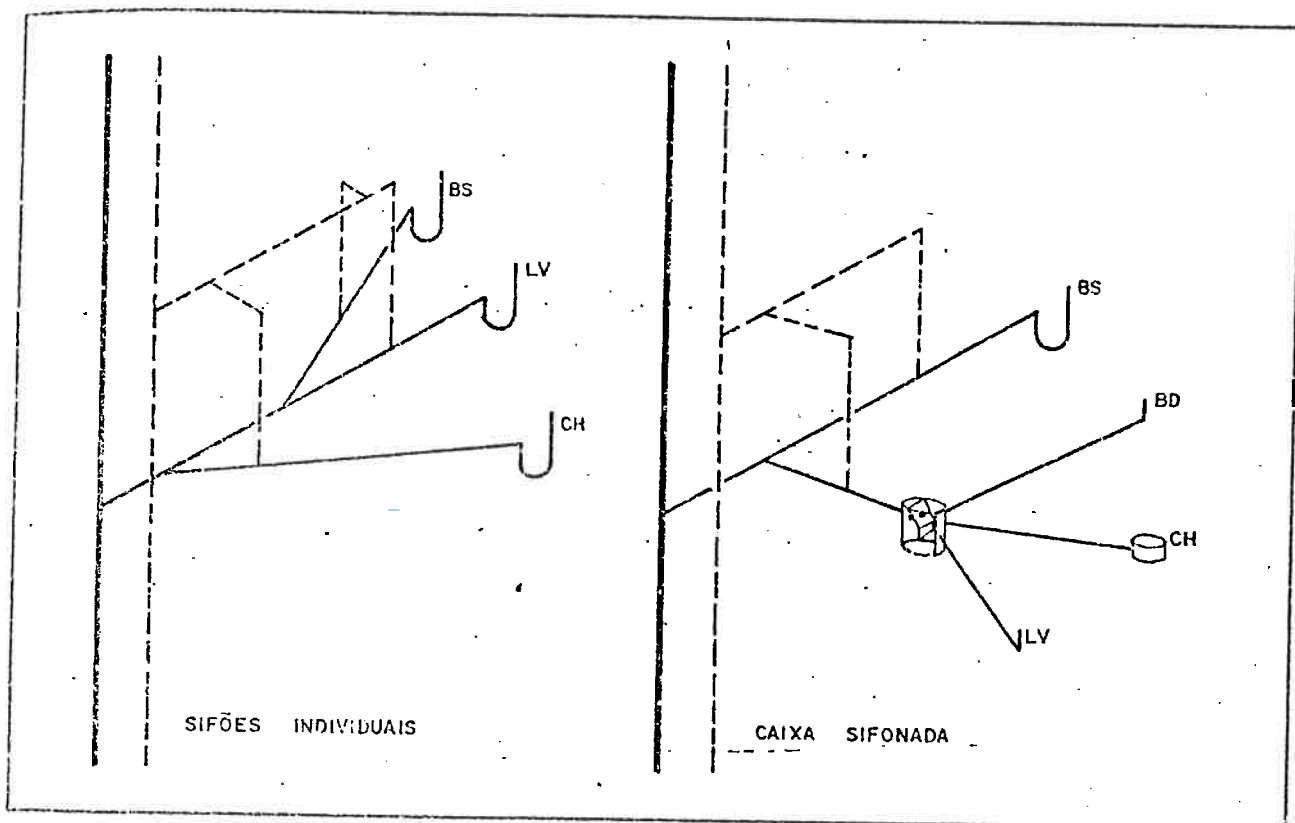


Figura 19 - Sifões individuais e caixas sifonadas.

Em 1983, a Norma Brasileira NB-19 foi reeditada com as revisões efetuadas pela Comissão CE-2:09:11 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Nesta nova edição não foram introduzidas grandes alterações nos sistemas e nos critérios de projeto. Com relação aos sistemas, é digno de destaque a adoção do sistema de queda única modificado

com ventilação do tubo de queda, "quando não for possível ventilar o ramal de descarga do vaso sanitário auto-sifonado ligado diretamente ao tubo de queda e não..." [47].

No Brasil, os sistemas e critérios de projetos utilizados, nos dias de hoje, são ainda substancialmente baseados nas regulamentações americanas, sendo estas provenientes das pesquisas realizadas na primeira metade deste século. A revisão da NB-19, publicada em 1983, não introduziu a possibilidade da utilização de novos sistemas.

Com a disponibilidade de conceitos, técnicas e métodos desenvolvidos em importantes centros de pesquisa [48] e com o desenvolvimento de pesquisa nacional, aderida à realidade regional, é possível, em curto espaço de tempo, reduzir significativamente o diferencial tecnológico que nos separa dos países desenvolvidos.

Assim, o entendimento e a interpretação dos fenômenos que ocorrem nas instalações de esgotos sanitários, bem como a compreensão da solicitação da instalação pelo usuário, constitui a base para a evolução dos parâmetros de projeto de sistemas prediais de esgotos sanitários, tanto na concepção geral dos sistemas, quanto no estabelecimento dos critérios de dimensionamento.

Fassemos ao estudo dos fatores e variáveis que intervêm no desempenho dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

## 5. ESTUDO DAS AÇÕES A QUE ESTÃO SUJEITOS OS FECHOS HIDRÍCOS

Neste capítulo, pretendemos apresentar os fenômenos de ocorrência em um sistema predial de coleta de esgotos sanitários, que se constituem em fator básico para o estabelecimento dos parâmetros, segundo os quais a concepção e o dimensionamento destes sistemas, devem ser pautados.

O que caracteriza a instalação em questão é o fato de ser, a mesma, um sistema cujo comportamento é, de certa maneira, complexo e ainda não completamente formalizado a nível quantitativo. Alguns pontos fundamentais, serão discutidos para a elaboração de modelo de comportamento, visando a aplicação prática de determinados conceitos e adequabilidade ao projeto de tais sistemas. Esta abordagem metodológica será apresentada adiante neste trabalho.

Para que possamos interpretar corretamente os fenômenos hidráulicos pneumáticos, há que se proceder em termos das exigências de desempenho, como já discutido no capítulo 4.

Recuperando-se o exposto em 4.5 temos: "os odores existentes no interior das tubulações não deverão penetrar nos ambientes sanitários".

Tendo em conta este requisito, procuraremos então, estudar os fenômenos que intervêm diretamente sobre os fechos hidrícos, que

assumiremos como solução válida para o bloqueio da passagem dos odores para o interior das edificações (4.5, a.1).

Assim sendo, a seguir, procuraremos estudar, de forma mais completa, as relações entre os requisitos (conforme 4.5) e os fenômenos que influenciam o comportamento dos fechos hidricos, cujo controle se pretende, tendo-se em vista o desempenho das instalações prediais de coleta dos esgotos, como um todo.

Para que isto seja possível, discutiremos a seguir, as ações a que estão sujeitos os fechos hídricos.

#### 6.1 Ações a que estão sujeitos os fechos hídricos.

Os fechos hidricos colocados, em geral, junto aos pontos de descarga dos aparelhos sanitários, podem estar sujeitos a uma série de ações, que devem ser controladas, de modo a assegurar a permanência do bloqueio hídrico efetivo sob as condições de exposição do sistema.

As ditas ações podem ser separadas em dois grupos, a saber:

- ações sobre os fechos hídricos independentes da ocorrência de escoamento de água:

- . variações da pressão do ambiente;
- . capilaridade;
- . difusão de gases na água;
- . tiragem térmica e ação de vento;

- . congelamento;
  - . evaporação.
- ações sobre os fechos hidricos dependentes da ocorrência de escoamento de água:
- Sucção: devido à ocorrência de pressões negativas (menores do que a atmosférica) ou depressões provocadas por:
    - . Auto-sifonagem: devido à descarga de aparelhos sanitários através do fecho hidrico considerado (situação ativa do fecho hidrico).
    - . Sifonagem Induzida: devido à descarga de outros aparelhos sanitários, e consequente condição de escoamento (situação passiva do fecho hidrico considerado).
  - Compressão: devido à ocorrência de pressões positivas (maiores do que a atmosférica) ou sobrepressões, provocadas por bloqueios do fluxo de ar no interior das tubulações.

Estudaremos a seguir, em detalhe, as ações sobre os fechos hidricos, conforme aqui definidas:

## 6.2 Ações sobre os fechos hidricos, independentes da ocorrência de escoamento de água.

Entendemos por ações sobre os fechos hidricos, independentes da ocorrência de escoamento, aquelas que podem causar perdas do fecho hidrico ou transmissão de odores pelo mesmo, ou ainda, o bloqueio do fluxo quando o sistema não estiver em "funcionamento", por ação de descargas.



Em outras palavras, referimo-nos a estas ações, como sendo aquelas que agem sobre os fechos hidráulicos, sem que, necessariamente, haja fluxo de água em qualquer tubulação do sistema. Em resumo, uma vez que os fechos hidráulicos devem estar permanentemente presentes no interior dos sifões, ficam os mesmos expostos às solicitações ou ações durante períodos em que não há fluxo de água, devido à não utilização dos aparelhos sanitários pelos usuários.

Consideremos então, as ações a seguir:

#### 6.2.1 Variações da pressão do ambiente

Durante os períodos em que o sistema de coleta de esgotos sanitários não esteja sendo solicitado por descargas, podem existir variações dos níveis dos fechos hidráulicos, devido à ocorrência de variações de pressão no ambiente sanitário, no qual estejam instalados.

- As variações de pressão podem ser provocadas por:

- . abertura ou fechamento de portas e janelas do ambiente;
- . ventilação natural;
- . exaustão mecânica dos ambientes sanitários;
- . ventilação e condicionamento do ar ambiental.

As oscilações de pressão nos fechos hidráulicos podem variar em torno da pressão atmosférica no ambiente, para mais ou para menos, em função das características das ações exercidas.

Considerando-se as ações de natureza transitória (abertura e fechamento de portas e ventilação natural), podemos comentar que os fechos hidricos oscilam, em torno do nível de repouso, segundo as intensidades e frequências destas ações. Estas oscilações podem provocar perda de água ou borbulhamento, dependendo dos níveis em que se encontrarem os fechos hidricos, quando submetidos às citadas ações.

Considerando-se as ações de natureza permanente (exaustão mecânica e condicionamento de ar), podemos comentar que os fechos hidricos estabilizam-se em níveis diferentes nas câmaras de entrada e de saída dos mesmos.

Assim, a instalação de exaustão mecânica pode criar, nos ambientes sanitários, pressões menores do que a atmosférica, ficando, neste caso, o nível de água na câmara de entrada em cota superior à do nível de água da câmara de saída.

No caso em que haja instalação de ventilação ou condicionamento de ar, a introdução do ar nos ambientes pode causar a ocorrência de pressões maiores do que a atmosférica, provocando a estabilização dos fechos hidricos, em posições inversas, com relação ao citado no parágrafo anterior. A figura 20, procura ilustrar o exposto.

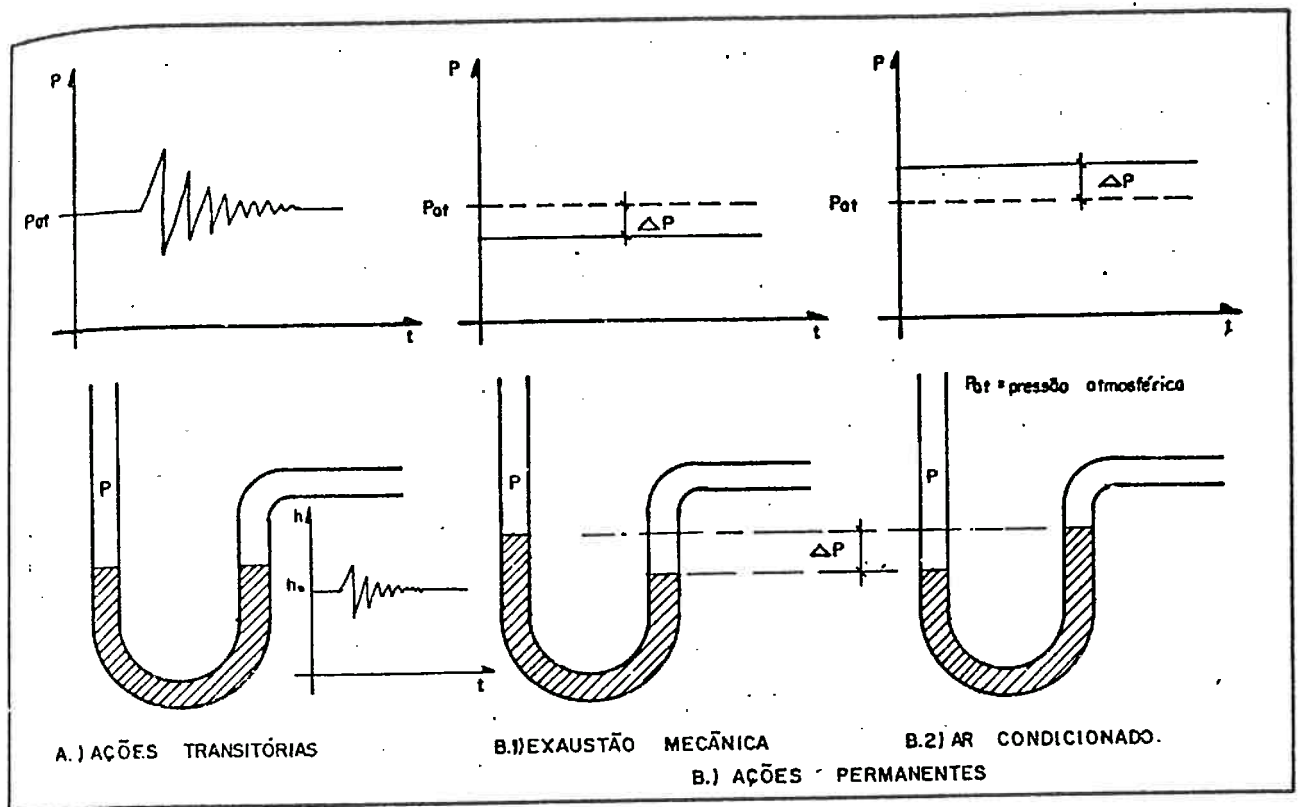


Figura 20 - Efeitos das variações de pressão nos ambientes sanitários segundo a natureza das ações.

Cabe comentar que as magnitudes das diferenças de pressão, em geral, são pequenas (da ordem de 30Pa (3mmCA)), o que pode representar oscilações de menos do que 10% da altura do fecho hidráulico (geralmente de 50mm).

Julgamos conveniente apontar que, nos casos em que estas pressões possam assumir valores mais significativos, poderá haver preponderância de tais efeitos, no estabelecimento das alturas dos fechos hidráulicos.

### 6.2.2 Capilaridade

Ao considerarmos as ações a que ficam submetidos os fechos hidricos, não poderíamos deixar de lado os possíveis efeitos devidos à capilaridade.

Starbuck [49], considerava a capilaridade como "sério perigo para a conservação do fecho hidrico e para o qual, parece que não há remédio".

Os efeitos, devidos à capilaridade, podem ocorrer nos fechos hidricos, pela introdução de materiais porosos ou fibrosos que possam ficar retidos na câmara de saída do sifão, produzindo perda de água por ação capilar. A figura 21 mostra, esquematicamente, o exposto.

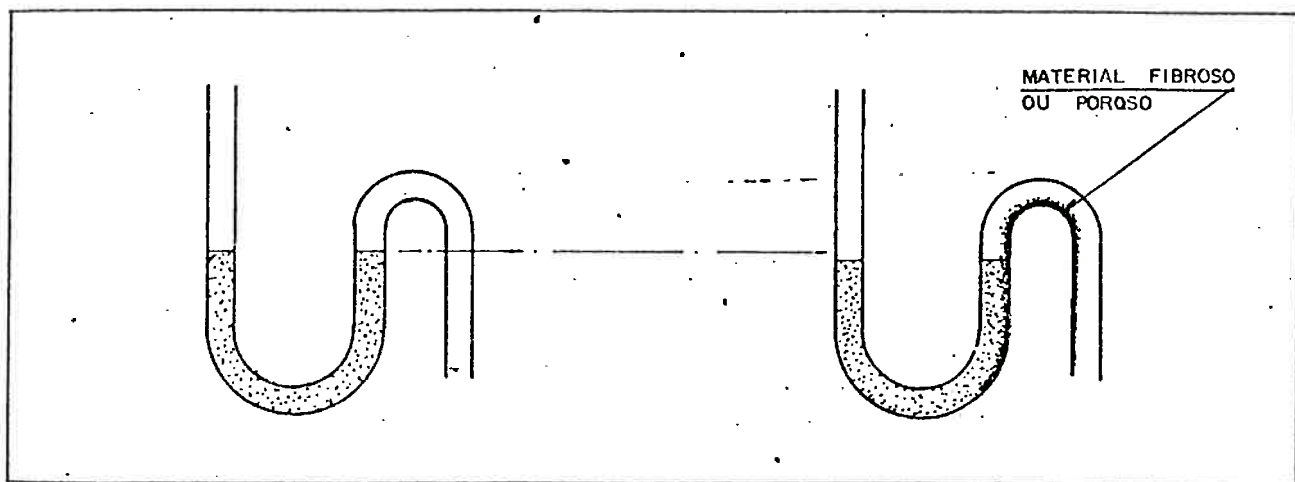


Figura 21 - Perda do fecho hidrico por ação de capilaridade.

É necessário comentar que é difícil procurarmos avaliar, numericamente, as perdas provocadas por capilaridade.

Estas perdas são geradas, por introdução dos mais diversos tipos de materiais nos equipamentos sanitários.

A perda de água do fecho hídrico, pela ação da capilaridade, pode ser de grande magnitude. Verificamos que a simples introdução de uma cordoalha de fibras vegetais, com diâmetro de 1cm e 1m de comprimento, no fecho hídrico de uma bacia sanitária, provocou a perda de água total em menos de 24h.

Assim, julgamos conveniente comentar que a possível eliminação desta ação pode ser obtida através de:

- . eficiência da ação sifônica das descargas;
- . baixa rugosidade das paredes internas dos sifões;
- . ausência de "rebarbas" na conexão entre o sifão e o respectivo ramal de descarga;
- . educação dos usuários, quanto à utilização dos equipamentos sanitários.

Finalmente, apontamos que os efeitos produzidos por ação capilar podem ser minimizados como descrito, e que a consideração de perdas de água deve ficar sujeita às condições específicas de utilização. De uma forma geral, esta ação não é costumeiramente observada, dadas as condições médias de uso dos equipamentos sanitários nos dias de hoje.

### 6.2.3 Difusão de gases na água

Uma vez que os fechos hídricos não devem permitir a passagem de gases do interior da instalação para os ambientes; é de se

considerar a possibilidade de que os gases possam atravessar a barreira hidráulica por difusão.

Assim, os fechos hidricos devem agir eficientemente contra a passagem de gases por difusão, e não somente pelo bloqueio da passagem direta.

Acreditava-se, no início do século, que a altura do fecho hidrico deveria ser estabelecida, em função da difusibilidade dos gases na água. Warren E. Howland [14], estudou o fenômeno colocando que são 5 os fatores influentes na difusibilidade dos gases do interior da tubulação para o fecho hidrico:

- . a quantidade de gás existente no ramal;
- . a secção transversal do fecho hidrico;
- . o comprimento desenvolvido do fecho hidrico;
- . característica do gás com relação à sua capacidade de difusão;
- . o tempo de permanência da água no sifão.

O experimento conduzido por Howland foi feito ligando-se um sifão com altura do fecho hidrico de 50mm à uma câmara fechada. Foram colocadas duas pequenas mangueiras através do fecho hidrico, ligando-se o ambiente e a câmara. Uma mangueira, destinava-se à introdução de gás sulfídrico e a outra ao alívio de pressão. Verificou, o pesquisador, que após uma hora e meia, poderiam ser detectados odores, nas proximidades do nível de água da câmara de entrada do fecho hidrico. Este fato confirmava a difusão do gás na água do fecho hidrico.

Cabe, entretanto, notar que, analisando a concentração de gás sulfídrico no interior de tubulações de esgotos sanitários (100ppm), o pesquisador considerou o efeito da difusão como desprezível, tendo em vista a verificação experimental com concentração de quase 100%.

Assim, se o efeito já era negligível para uma concentração de quase 100%, para concentrações encontradas na prática (dez mil vezes menos - 0,01%) o efeito poderia ser totalmente desprezado.

Podemos concluir, então, que o efeito da difusão de gases na água dos fechos hídricos, na prática, é desprezível, o que mostra que a barreira hídrica é, efetivamente, um elemento eficiente para o bloqueio da passagem dos gases.

#### 6.2.4 Tiragem térmica e ação de vento

Um dos fatores que pode causar perda de água dos fechos hídricos é o movimento de ar no interior das tubulações do sistema predial de esgotos sanitários, devido à diferença de temperatura do ar no interior das tubulações e do ar exterior, e à ação do vento sobre o topo do tubo de queda.

Evidentemente a massa específica do ar varia com a temperatura, diminuindo quando esta aumenta (ver tabela 3 [50]). O diferencial de pressão que tende a produzir fluxo de ar pode ser expresso, segundo Wielsen [12], Steele [51] e Allen [52], pela expressão:

$$\Delta P_t = (\rho_e - \rho_i) g h_{te} \dots \dots \dots (1)$$

onde:

$\Delta p_t$  - diferença de pressão, que provoca a tiragem térmica em Pa.

$\rho_i, \rho_e$  - massas específicas do ar interno e externos, em  $\text{kg/m}^3$ .

$g$  - aceleração gravitacional, em  $\text{m/s}^2$ ;

$h_{ta}$  - altura de tubo de queda, em m.

$\theta$ (°C)	$\rho_i, \rho_e$ (kg/m <sup>3</sup> )
- 20	1,393
- 18	1,383
- 10	1,344
- 07	1,324
0	1,295
04	1,275
10	1,246
16	1,216
20	1,207
27	1,177
38	1,138
40	1,118
49	1,109
60	1,059
66	1,050
80	0,991
93	0,961
100	0,942

Tabela 3 - Variação da massa específica do ar com a temperatura.

Substituindo  $g = 9,81\text{m/s}^2$ , temos:

$$\Delta p_t = 9,81 (\rho_e - \rho_i) h_{ta} \dots \dots \dots (2)$$

O sentido do fluxo de ar que se estabelece é função do diferencial de massas específicas, isto é, quando a temperatura



do ar no interior das tubulações é superior à temperatura do ar exterior, o fluxo de ar ocorre no sentido ascendente, e no caso contrário, no sentido descendente, como ilustramos na figura 22.

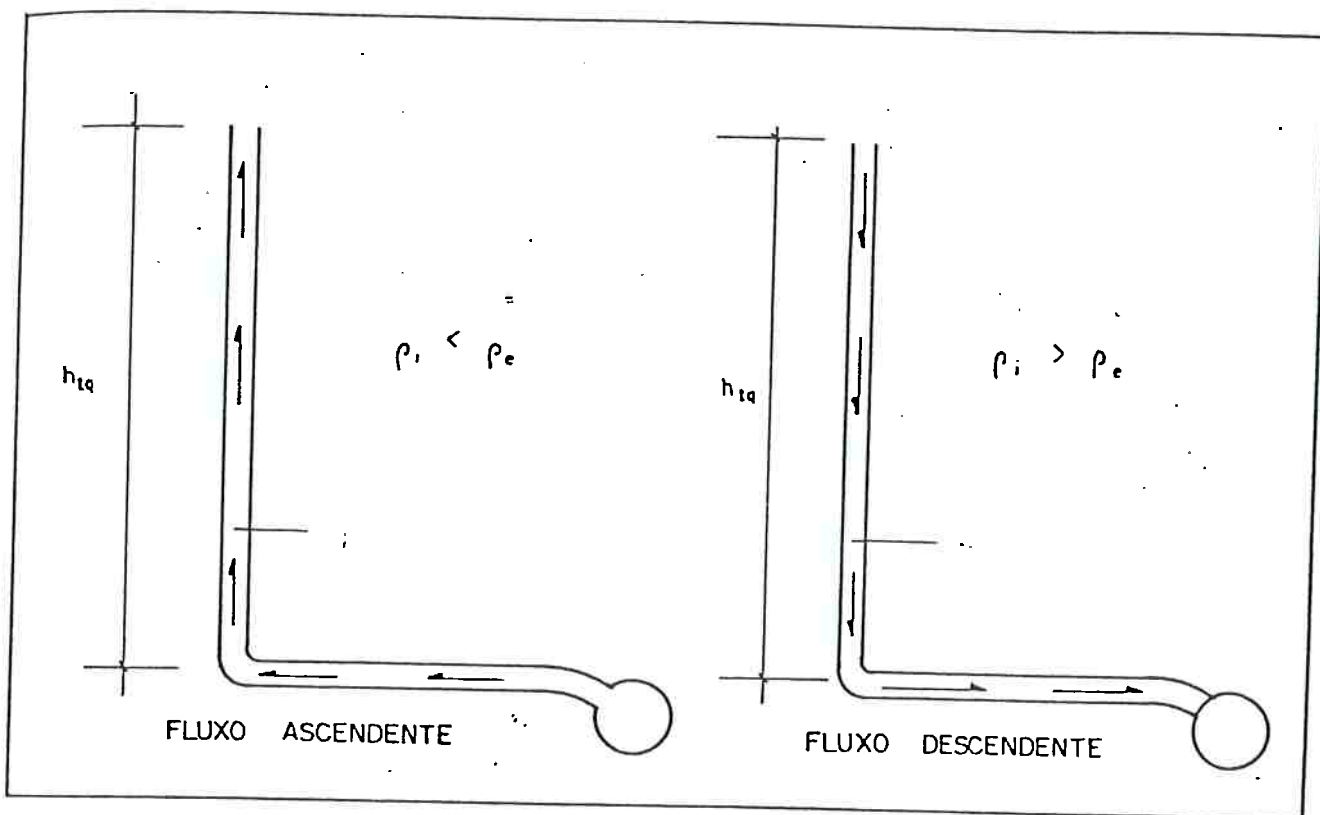


Figura 22 - Tiragem térmica em tubos de queda.

Assim, a magnitude da pressão diferencial ( $\Delta p_e$ ) é proporcional à diferença de densidades, e logicamente à diferença de temperaturas, e à altura do tubo de queda.

O fluxo de ar que se estabelece é proporcional a  $\Delta p_e$  provocando perda de carga ao longo do trecho vertical e horizontal, do sistema de esgotos sanitários, igual a  $\frac{\Delta p_{ev}}{\gamma_s}$  [51] e [52].

A ação desta tiragem térmica sobre os fechos hídricos pode provocar oscilações de pressão consideráveis, principalmente em

edifícios altos e nos meses frios. Nestes casos, as variações de pressão devem ser cuidadosamente avaliadas no estabelecimento dos fechos hidráulicos.

Evidentemente, a tiragem térmica é responsável pela remoção dos gases existentes no interior das tubulações do sistema.

Para edifícios de até 40m de altura, em condições estáveis de temperatura, a magnitude da pressão diferencial é da ordem de 20Pa (2mmCA), para diferenças de temperatura de 10°C a 20°C.

Podemos, assim, observar que na maioria dos casos, no Brasil, a ação da tiragem térmica sobre os fechos hidráulicos é pequena.

A ação do vento que atua no topo dos tubos de queda do sistema predial de esgotos sanitários, pode ser expressa por:

$$\Delta p_v = \frac{1}{2} k \rho_e v_e^2 \dots \dots \dots (3)$$

onde:

$\Delta p_v$  - diferença de pressão no topo do tubo de queda, devida à ação do vento, em Pa;

k - coeficiente de pressão dinâmica do terminal do tubo de queda;

$v_e$  - velocidade do vento exterior, em m/s;

$\rho_e$  - massa específica do ar exterior, em kg/m<sup>3</sup>.

A velocidade do vento exterior, nas proximidades do topo do tubo de queda, varia com:

- a altura do edifício, onde o terminal do tubo de queda se encontra instalado;
- as condições localizadas do terminal do tubo de queda, tais como, existência de elementos de proteção, instalação junto às platibandas, inclinação da cobertura, etc.;
- as condições locais, tais como:
  - . condições climáticas regionais;
  - . posição relativa do edifício;
  - . características geométricas do edifício.

A velocidade,  $v_w$ , a ser utilizada na expressão (3), é a velocidade de aproximação do vento ao edifício, considerando-se apenas a altura do mesmo. A figura 23 ilustra a ação do vento.

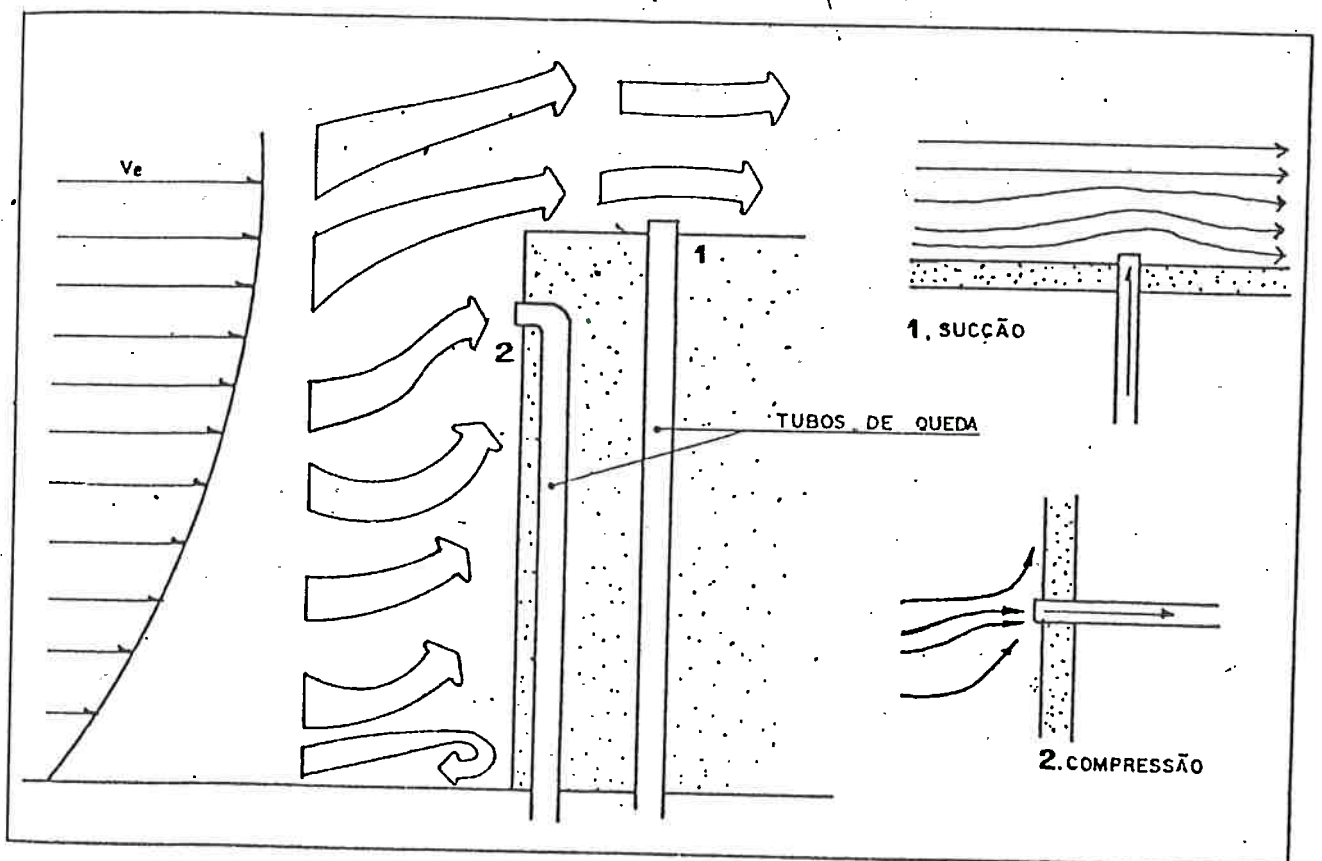


Figura 23 - Efeito do vento em terminais de tubos de queda. :

As condições localizadas do terminal do tubo de queda, bem como as condições locais, relativas à instalação deste tubo de queda, são consideradas no estabelecimento do coeficiente k. Devem ser, também, consideradas as características geométricas específicas do terminal do tubo de queda (ver figura 24).

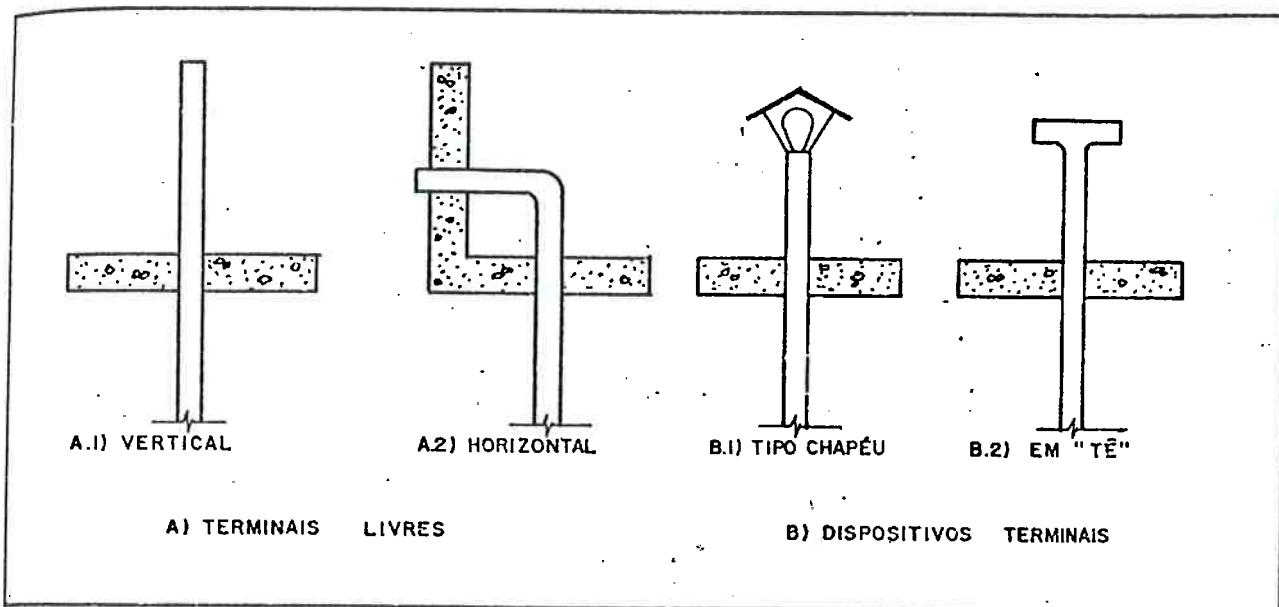


Figura 24 - Terminais de tubo de queda.

Evidentemente, os efeitos de tiragem térmica e da ação do vento exterior ocorrem como consequência da ação combinada dos mesmos.

$$\Delta p_{tev} = \Delta p_t + \Delta p_v \dots\dots\dots (4)$$

onde:

$\Delta p_{tev}$  - diferença de pressão no topo do tubo de queda, devido à ação simultânea da tiragem térmica e do vento exterior.

$\Delta p_t, \Delta p_v$  - já definidos.

As ações de tiragem térmica e de vento exterior podem provocar diferenças de pressão positivas (compressão) e negativas (sucção). As pressões positivas determinam que o sentido do fluxo de ar ocorre do exterior para o interior do tubo de queda.

No caso da ocorrência de pressões negativas, o fluxo se dá no sentido contrário.

Assim consideraremos, neste trabalho, para o estabelecimento dos efeitos mais desfavoráveis sobre os fechos hídricos, o seguinte:

- para a sucção:

$$\Delta p_{tv} = \min \Delta p_t + \min \Delta p_v \dots \dots \dots (5)$$

- para a compressão:

$$\Delta p_{tv} = \max \Delta p_t + \max \Delta p_v \dots \dots \dots (6)$$

Uma vez que as ações de tiragem térmica e do vento exterior podem se sobrepor, em condições extremas.

Substituindo-se (1) e (3) em (4), temos:

$$\Delta p_{tv} = (\rho_o - \rho_i)g h_{ta} + \frac{1}{2} k \rho_o v_o^2 \dots \dots \dots (7)$$

O sinal do coeficiente de pressão dinâmica (k) será positivo no caso de compressão e negativo no caso de terminal sujeito à sucção.

Estudos sobre ventilação em edifícios [53] e [54], subsidiaram-nos no desenvolvimento da expressão (7).

Considerando o ar como um "gás perfeito", temos o seguinte:

$$\frac{p}{\rho} = RT \dots\dots\dots (8)$$

onde:

p - pressão absoluta a que está sujeito o ar ambiente;

$\rho$  - massa específica do ar;

R - constante dos gases perfeitos para o ar ambiente;

T - temperatura absoluta do ar.

Admitiremos que p seja constante, tendo-se em vista as pequenas variações de temperatura ambiental.

Logo:

$$\rho_x T_x = \rho_o T_o \dots\dots\dots (9)$$

e

$$\rho_x = \frac{\rho_o T_o}{T_x} \dots\dots\dots (10)$$

onde  $\rho_o$  e  $T_o$  são os parâmetros de referência, que consideraremos a 0°C. Assim:

$$\rho_o = 1,295 \text{ kg/m}^3 \text{ e } T_o = 273^\circ\text{K}$$

Obtemos, então:

$$\rho_{\infty} - \rho_1 = \Delta \rho = \frac{\rho_0 T_0}{T_{\infty}} - \frac{\rho_0 T_0}{T_1} =$$

$$= \rho_0 T_0 \left( \frac{1}{T_{\infty}} - \frac{1}{T_1} \right) = \rho_0 T_0 \left( \frac{T_1 - T_{\infty}}{T_1 T_{\infty}} \right) \dots \dots \dots (11)$$

Substituindo-se  $T_0$  em (11) e fazendo-se  $\Delta T = T_1 - T_{\infty}$ , temos:

$$\Delta \rho = \rho_{\infty} - \rho_1 = -273 \rho_0 \frac{\Delta T}{T_1 T_{\infty}} \dots \dots \dots (12)$$

Substituindo-se (10) e (12) em (7), temos:

$$\Delta p_{tv} = \frac{-273 \rho_0}{T_1 T_{\infty}} g h_{ta} \Delta T + \frac{1}{2} k \frac{273 \rho_0 z}{T_{\infty}} \dots \dots \dots (13)$$

Assim:

$$\Delta p_{tv} = \frac{273 \rho_0}{2} \left( -2g h_{ta} \frac{\Delta T}{T_1 T_{\infty}} + k \frac{z}{T_{\infty}} \right) \dots \dots \dots (14)$$

Substituindo-se  $\rho_0 = 1,295 \text{ kg/m}^3$  e  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , temos:

$$\Delta p_{tv} = 176,77 \left( -19,62 h_{ta} \frac{\Delta T}{T_1 T_{\infty}} + k \frac{z}{T_{\infty}} \right) \dots \dots \dots (15)$$

A título de ilustração, consideremos a seguinte condição:

$$T_1 = 288^{\circ}\text{K} (15^{\circ}\text{C}) \text{ e } T_{\infty} = 273^{\circ}\text{K} (0^{\circ}\text{C}).$$

A expressão (15) assume a seguinte forma:

$$\Delta P_{tv} = -0,66h_{tq} + 0,65k v_w^2 \dots\dots\dots (16)$$

Consideremos, ainda, as seguintes condições:

- altura do tubo de queda -  $h_{tq} = 40m$ ;
- coeficiente de pressão dinâmica -  $k = -0,6$  (sucção);
- velocidade do vento exterior -  $v_w = 10m/s = 36km/h$ .

Temos assim:

$$\Delta P_{tv} = -26,40 - 39,00 = -65,40Pa = -6,54mmCA$$

Verificamos, a partir deste exemplo, que a magnitude da diferença de pressão, obtida pela ação simultânea da tiragem térmica e do vento pode assumir valores significativos, a serem considerados no estabelecimento das alturas dos fechos hídricos.

A existência desta diferença de pressão implica na ocorrência de fluxo de ar no interior do tubo de queda, fluxo este ascendente ou descendente, cuja magnitude das perdas de carga provenientes deste fluxo iguala-se a  $\frac{\Delta P_{tv}}{\gamma_1}$ .

Portanto, fica o interior do tubo de queda sujeito à oscilações de pressão influenciando assim, os fechos hídricos da instalação.

A vazão de ar que se estabelece, criada pela diferença de pressão, é responsável pela tiragem dos gases provenientes dos



despejos sanitários que são escoados através do sistema predial de esgotos sanitários.

Assim, a renovação de ar no interior do sistema predial de esgotos sanitários pode ser assim expressa:

$$i_r = \frac{Q_{tv}}{V_a} \dots \dots \dots (17)$$

onde:

$i_r$  - índice de renovação do ar no interior do sistema, em número de trocas por segundo;

$Q_{tv}$  - vazão de ar devida a  $\Delta p_{tv}$ , em  $m^3/s$ ;

$V_a$  - volume de ar contido nas tubulações do sistema de esgotos sanitários, em  $m^3$ ;

sendo que:

$$Q_{tv} = f (|\Delta p_{tv}|^{1/2}).$$

Segundo Wise [16], a concentração de gases no interior de um espaço ventilado, no caso em questão, o interior das tubulações do sistema, num dado intervalo de tempo, pode ser expressa por:

$$C_o = \frac{Q_g}{Q_{tv}} (1 - e^{-i_r t_o}) \dots \dots \dots (18)$$

onde:

$C_0$  - concentração de gases no interior das tubulações do sistema de esgotos sanitários, após o tempo  $t_0$ ;

$Q_0$  - vazão de gases produzida no sistema, em  $m^3/s$ ;

$t_0$  - intervalo de tempo decorrido entre o início da produção de gases até o instante que apresenta concentração  $C_0$ , em segundos;

Temos ainda que:

$$C'_0 = C''_0 e^{-i_r t'_0} \dots \dots \dots (19)$$

onde:

$C'_0$  - concentração de gases no interior das tubulações do sistema de esgotos sanitários, após o intervalo de tempo  $t'_0$ , estando o sistema com concentração  $C''_0$  no instante  $t'_0 = 0$ , (não havendo produção de gases);

$C''_0$  - concentração de gases no instante  $t'_0 = 0$ ;

$t'_0$  - intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o sistema estava com concentração  $C''_0$  e o instante em que a concentração será  $C'_0$ .

Do exposto, podemos verificar que as ações de tiragem térmica e de vento podem provocar efeitos indesejáveis sobre os fechos hidráulicos, muito embora estas ações sejam as responsáveis pela diminuição da concentração dos gases no interior das tubulações:

### 6.2.5 Congelamento

Uma das ações a que podem estar submetidos os fechos hidricos é o congelamento da água. Esta ação pode ocorrer em regiões de baixa temperatura, ocasionando o bloqueio do sifão e impossibilitando o escoamento dos despejos provenientes dos equipamentos sanitários.

Este fenômeno pronuncia-se com maior intensidade nas instalações aparentes externas ao edifício.

Nestas condições, cuidados especiais devem ser tomados quanto ao bloqueio de entrada de ar nos tubos de queda, pela formação de gelo na região exposta deste tubo de queda. Wyly e Eaton [55] estudaram exaustivamente o assunto.

### 6.2.6 Evaporação

A ação da evaporação da água sobre os fechos hidricos de uma instalação predial de esgotos sanitários, pode ser considerada como uma das de maior relevância. Isto se deve ao fato de que quando a instalação não está sendo utilizada, esta ação ocorre independentemente do uso e das características da edificação.

As perdas por evaporação dependem dos seguintes fatores:

- . temperatura ambiente;

- . umidade relativa do ar ambiente;
- . características geométricas dos sifões;
- . distância da ligação dos sifões aos tubos de queda;
- . condições de circulação do ar no ambiente sanitário;
- . duração de exposição dos fechos hidráulicos.

Evidentemente, as intensidades de evaporação variam com as condições ambientais de temperatura e umidade relativa. O ar ambiente (ar úmido) tem sua capacidade de difundir moléculas de água aumentada, com o aumento da temperatura ambiente.

A umidade relativa do ar é definida como sendo a relação entre a pressão de vapor de água em que se encontra o ar úmido e a pressão do vapor de água do ar saturado na temperatura ambiental. Temos assim:

$$y = \frac{p_v}{\pi} \dots\dots\dots (20)$$

onde:

y - umidade relativa do ar;

$p_v$  - pressão do vapor de água na temperatura ambiente;

$\pi$  - pressão do vapor de água do ar saturado na temperatura ambiente.

sendo:

$$\pi = f(T) \dots\dots\dots (21)$$

onde:

T - temperatura de bulbo seco do ambiente.

A tabela 4 apresenta valores de  $\pi$  em função de T [56]. Temos, também, que:

$$p_v \cong \frac{m_v}{V} R_v T \dots\dots\dots (22)$$

onde:

$p_v$  - pressão do vapor de água do ar ambiente, em Pa;

$m_v$  - massa de água no ar ambiente, em kg;

V - volume do ar ambiente que contém a massa  $m_v$ , em  $m^3$ ;

$R_v$  - constante do vapor de água, em N m/kg °K;

T - temperatura ambiente, em °K.

Define-se a intensidade de evaporação como sendo a celeridade com que se processam as perdas por evaporação [57]. A perda por evaporação é a quantidade de água evaporada por unidade de superfície horizontal, em um intervalo de tempo.

A intensidade de evaporação pode ser expressa por:

$$i_e = c_e (\pi - p_v) \dots\dots\dots (23)$$

onde:

$i_e$  - intensidade de evaporação, em mm/semana;

$c_e$  - coeficiente de evaporação, constante, em  $\frac{\text{mm}^2}{\text{m} \cdot \text{N} \cdot \text{semana}}$ ;

Substituindo-se (20) e (21) em (23), temos:

$$i_e = c_e (\pi - \gamma \pi) \dots\dots\dots (24)$$

e ainda:

$$i_e = c_e [f(T) - \gamma f(T)] \dots\dots\dots (25)$$

Conseqüentemente a altura de água perdida por evaporação, no fecho hídrico, pode ser assim expressa:

$$h_e = i_e \Delta t_e \dots\dots\dots (26)$$

onde:

$h_e$  - altura de água perdida no fecho hídrico, por evaporação, em mm;

$\Delta t_e$  - duração de exposição à evaporação do fecho hídrico, em semanas, logo:

$$h_e = c_e \Delta t_e f(T) (1 - \gamma) \dots\dots\dots (27)$$



Para a determinação de valores de  $c_e$ , podemos considerar que os sifões estejam desligados da instalação de esgotos sanitários, obtendo-se assim valores de  $c_e$  a favor da segurança, uma vez que as condições ambientais no interior das tubulações tendem a ser menos severas do que às do ar ambiente, dificultando o processo de evaporação na câmara de saída do fecho hidráulico.

Estudos anteriores [14], [31] e [58] não correlacionam a intensidade de evaporação à temperatura ambiente e à umidade relativa do ar. Os valores encontrados para a intensidade de evaporação variam entre 1,25 mm/semana a 11,40 mm/semana, e para as durações de exposição consideradas variam entre 4 semanas e 10 semanas.

Como apresentado, as perdas por evaporação dependem fundamentalmente de 4 fatores, a saber:

- $\Delta t_e$  - duração de exposição do fecho hidráulico à evaporação;
- $c_e$  - coeficiente de evaporação do sifão;
- T - temperatura ambiente;
- y - umidade relativa do ar ambiente.

Portanto, um mesmo sifão apresenta-se com comportamentos diferentes em função das condições climáticas dos locais onde está instalado.

Para as condições brasileiras, dadas as diferenças climáticas regionais e características específicas, os parâmetros T e y, acima, devem ser estabelecidos para cada localidade.



Da mesma maneira deve ser estabelecida a duração de exposição do fecho hídrico a ser considerada. Igualmente devem ser determinados os coeficientes de evaporação ( $c_e$ ) para os diversos tipos de sifão e caixas sifonadas, existentes no mercado.

Sugerimos, neste trabalho, o valor de  $\Delta t_e$  igual a 4,5 semanas, visto que o estabelecimento deste valor relaciona-se com o período máximo de falta de utilização, estimado em 30 dias.

Como vimos, a evaporação dos fechos hídricos constitui-se elemento importante para o estabelecimento das alturas hídricas dos sifões.

Estudamos, nessa parte do trabalho, ações sobre os fechos hídricos independentes da ocorrência de escoamento de água.

Apresentaremos, a seguir, o estudo daquelas ações provenientes da ocorrência de escoamento de água nos sistemas prediais de coleta dos esgotos sanitários.

### 6.3 Ações sobre os fechos hídricos dependentes da ocorrência de escoamento de água.

Entendemos por ações dependentes da ocorrência de escoamento de água aquelas que podem causar perdas ou perturbações nos fechos hídricos ou transmissão de odores pelos mesmos, quando o sistema estiver em "funcionamento".

Em outras palavras, referimo-nos a estas ações como sendo aquelas que agem sobre os fechos hidricos quando, necessariamente, haja fluxo de água em qualquer tubulação do sistema. Em resumo, uma vez que os fechos hidricos devem estar permanentemente presentes no interior dos sifões, ficam os mesmos expostos às solicitações ou ações durante a ocorrência de descargas no sistema, devidas à utilização dos aparelhos sanitários pelos usuários.

Consideremos, então, as ações a seguir:

### 6.3.1 Auto-sifonagem

Estudemos a ocorrência do fenômeno da auto-sifonagem dos fechos hidricos, procurando estabelecer parâmetros qualitativos e quantitativos que orientem o estabelecimento dos fechos hidricos.

Como definimos anteriormente, o fenômeno da auto-sifonagem refere-se à redução do fecho hidrico de um sifão, ocasionada pelo escoamento do aparelho sanitário ligado diretamente a este sifão.

Os pesquisadores abordaram a auto-sifonagem sob diversos enfoques, com o intuito de estabelecer uma lei quantitativa que caracterizasse o fenômeno. Os primeiros estudos foram realizados por Hunter [14], em 1929, que desenvolveu pesquisas com sifões tubulares e apresentou alguns resultados experimentais (ver tabela 5).

I Fecho Hidrico I (Sifão P) I em mm	I Comprimento do Ramal sem Ventilação em m	
	I Lavatório Desaguan- I do em Ramal, com De- I clividade 2% e 4%	I Aparelhos c/Fundo Plano I I = 4% I I = 2%
I 50	I 1,20	I 1,20 I 2,40
I 75	I 1,80	I 1,80 I 3,60
I 100	I 2,40	I 2,40 I 4,80

Tabela 5 - Comprimento máximo do ramal de descarga sem ventilação, segundo Hunter.

Outros pesquisadores, além de Hunter, desenvolveram alguns trabalhos científicos, entre eles podemos citar French e Eaton [59], em 1951, Wise [60] e [61], em 1954, e mais recentemente Kanasugi e Kiya [62], em 1978, e Wakelin [63], em 1979.

Cabe acrescentar, que o estabelecimento de um modelo matemático completo, representativo do fenômeno, ainda não foi totalmente delineado, tendo em vista a complexidade das variáveis intervenientes neste fenômeno.

A auto-sifonagem ocorre devido à ação da descarga de um dado aparelho de forma a provocar depressões no fecho hidrico que protege este mesmo aparelho. Imaginemos um lavatório, sem extravasor, ligado ao seu ramal de descarga através de um sifão tipo P.

Para uma maior compreensão do fenômeno da auto-sifonagem, apresentaremos a sequência de situações desde o início da descarga deste lavatório, até o repouso do fecho hidrico após o

término da ação da descarga. A figura 25 ilustra a sequência de situações mencionada.

Assim sendo podemos descrever o fenômeno através da seguinte sequência:

- (a) o lavatório encontra-se com sua cuba cheia de água e o sifão P em repouso, com a altura do fecho hidrico em sua posição máxima, retirando-se o tampão do lavatório, dá-se início à descarga;
- (b) a vazão diminui com o transcurso da descarga; nesta fase o ar contido, inicialmente, entre o fecho hidrico e o tampão do lavatório agrega-se na massa de água; após um determinado intervalo de tempo, função da forma da cuba do lavatório, inicia-se o vórtice, provocando a introdução de ar no fluxo e consequente diminuição da vazão de água;
- (c) fim do escoamento no lavatório, nesta circunstância o ramal de descarga encontra-se sob carga;
- (d) o nível de água da câmara de entrada do fecho hidrico cai abaixo do nível de água da câmara de saída, dando-se o início da sifonagem;
- (e) a ação da movimentação da veia líquida através do ramal conduz o nível de água da câmara de entrada ao nível do colo do sifão, permitindo assim o início da introdução mais intensa de ar no ramal;

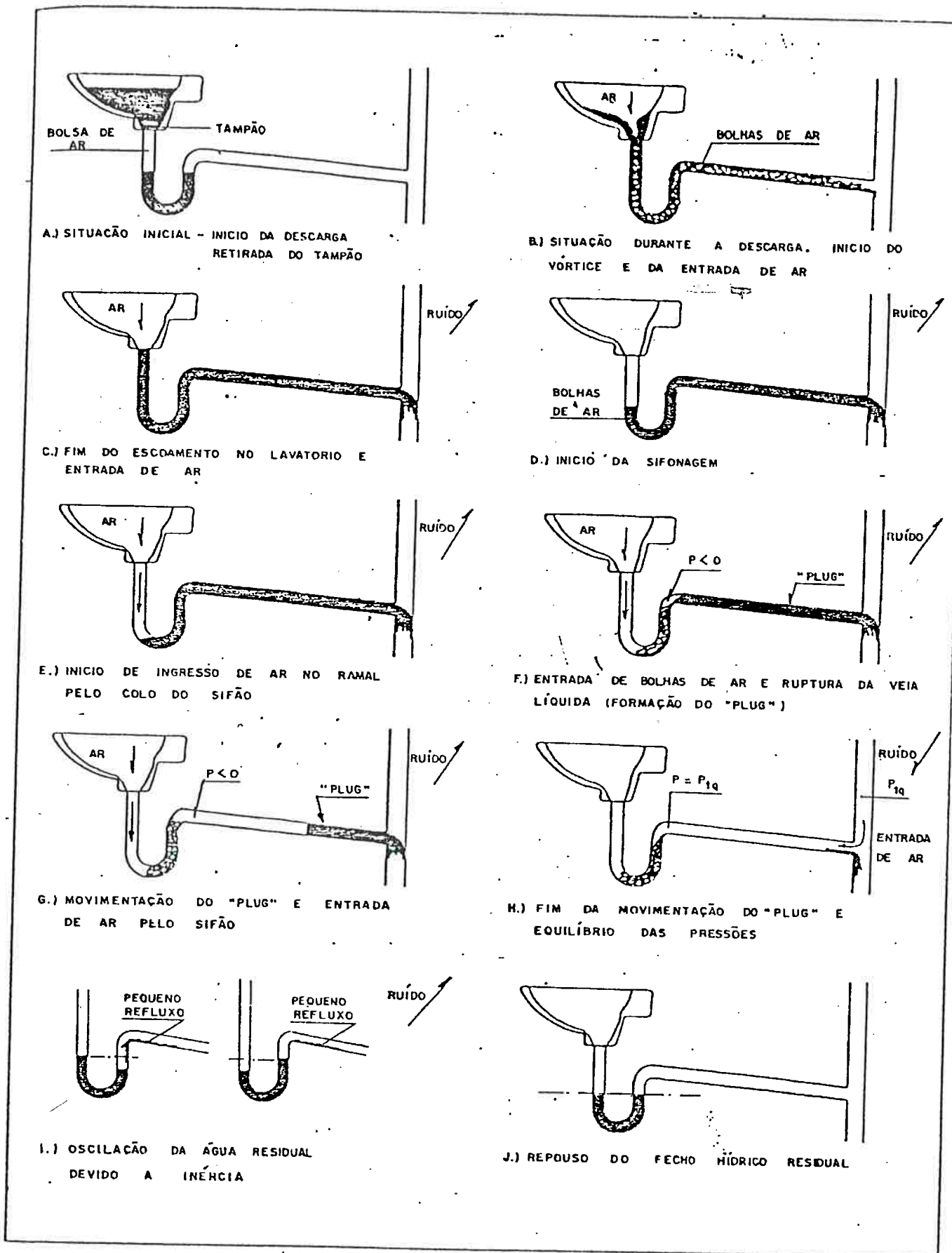


Figura 25 - Auto-sifonagem - Caracterização do fenômeno.

- (f) o ar que penetra através do sifão tende a acumular-se no início do ramal de descarga, havendo neste instante a ruptura da veia líquida, inicia-se a partir daí o escoamento de um "plug" de água;
- (g) a movimentação deste "plug" cria maiores depressões, tendendo a carrear parte da água residual, contida no fecho hidráulico;
- (h) fim do escoamento do "plug" de água; neste instante inicia-se o processo de equilíbrio do fecho hidráulico;
- (i) a água residual final oscila em torno da posição final de repouso, devido à inércia da massa de água e à rápida modificação do estado de pressões;
- (j) após alguns instantes ocorre o amortecimento das oscilações, e conseqüente estabilização do nível do fecho hidráulico residual.

Uma vez caracterizado o fenômeno da auto-sifonagem, procuraremos discutir a influência das variáveis intervenientes no processo da auto-sifonagem.

Os pesquisadores French e Eaton [59], em suas pesquisas realizadas no National Bureau of Standards procuraram estabelecer um modelo, baseado na análise dimensional das variáveis que influenciam a ocorrência da auto-sifonagem.

Utilizaram, os pesquisadores, o esquema de instalação apresentado na figura 26, com os seguintes elementos:

- lavatório com dispositivo de extravasão;
- sifão tubular tipo P, instalado na saída do lavatório;
- ramal de descarga com comprimento e diâmetro variáveis;
- tubo vertical de descarga, instalado a jusante do ramal de descarga, com ligação através de junção 45° ou tê sanitário.

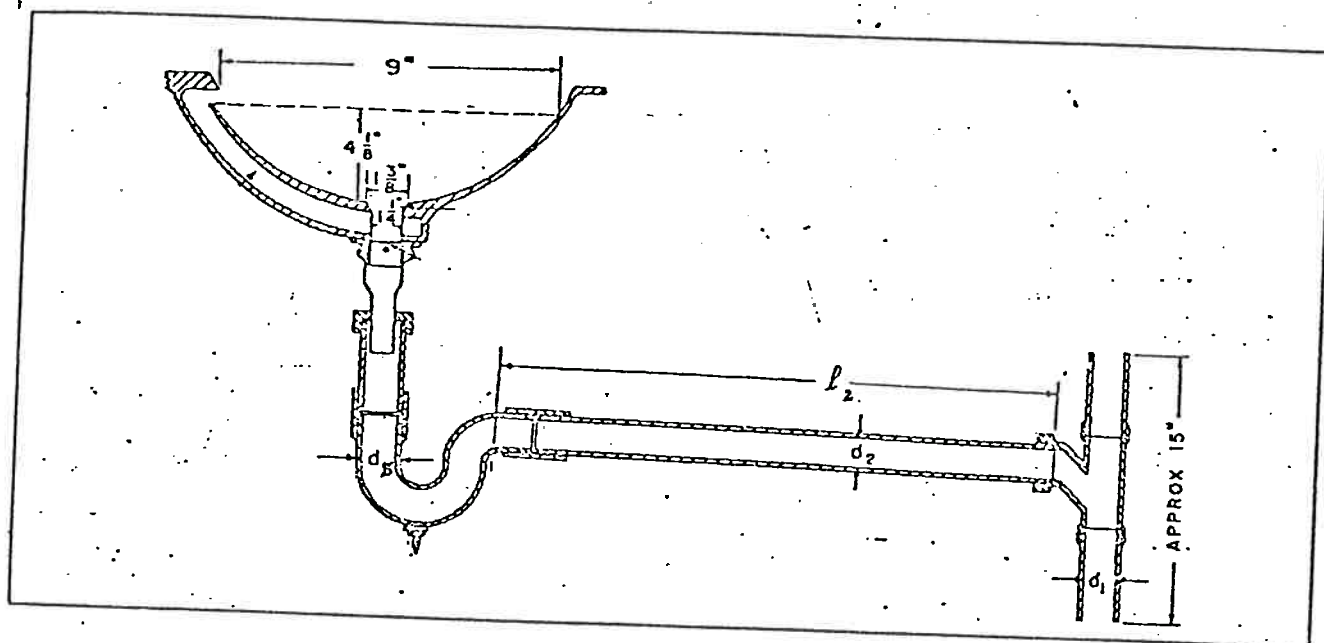


Figura 26 - Montagem para teste de auto-sifonagem utilizada por French e Eaton.

O gráfico 1 mostra a evolução do escoamento de um aparelho sanitário (banheira), em função da duração deste escoamento. Este gráfico servirá de referência para a compreensão dos tópicos a seguir apresentados.

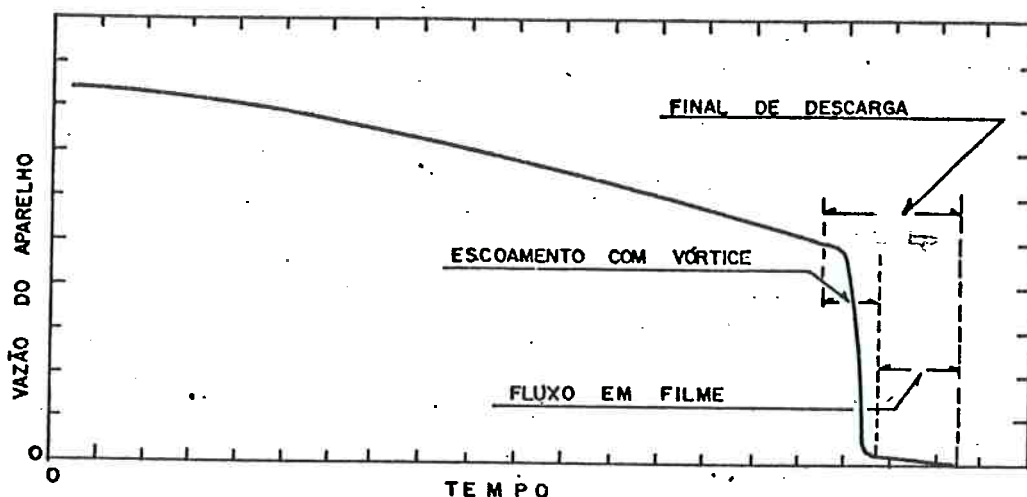


Gráfico 1 - Curva característica de descarga de uma banheira segundo French e Eaton.

Evidenciam-se, das experiências realizadas, dois tipos de fatores, aqueles que provocam perda de água dos fechos hidráulicos e aqueles que possibilitam a reposição de água dos fechos hidráulicos.

Assim, os fatores que contribuem para a perda de água são os seguintes:

- a perda do fecho hidráulico será maior quanto mais abruptamente terminar o escoamento no aparelho sanitário (ver gráfico 1);
- a perda do fecho hidráulico do sifão será maior, quanto maior for a vazão próxima ao término do escoamento no aparelho sanitário;
- a perda do fecho hidráulico do sifão será maior quanto maior for a vazão no ramal de descarga do aparelho sanitário, devido ao aumento das depressões desenvolvidas;



- o ar penetrando pelo dispositivo de extravasão do aparelho sanitário ou pelo vórtice (ver gráfico 1), faz com que o escoamento se faça com bolhas de ar incorporadas, que tendem a carregar uma parcela de água do fecho hidráulico;
- quando o escoamento termina abruptamente, a coluna de água da câmara de entrada do sifão cai abaixo do nível inferior do sifão (colo do sifão), acarretando passagem de bolhas de ar, e conseqüente diminuição do fecho hidráulico.

Os fatores que contribuem para reposição de água dos fechos hidráulicos, ao final do escoamento que provoca a auto-sifonagem, são os seguintes:

- o escoamento final, no aparelho sanitário, em forma de filme pode restabelecer o nível do fecho hidráulico, próximo ao valor inicial; este efeito é significativo em aparelhos sanitários com fundo pouco inclinado, ou plano, como por exemplo as pias de cozinha, banheiras e chuveiros;
- o despreendimento dos "plugs" que se formam no ramal de descarga, devido à introdução das bolhas de ar (ver figura 27), podem provocar o restabelecimento do fecho hidráulico, pela ocorrência de refluxo no ramal;
- ondas de retorno de água, ocasionadas pelo choque do fluxo de água, no ramal de descarga com o tubo de queda podem provocar a recuperação do nível do fecho hidráulico do sifão; este fenômeno acentua-se em ramais curtos e pouco inclinados.

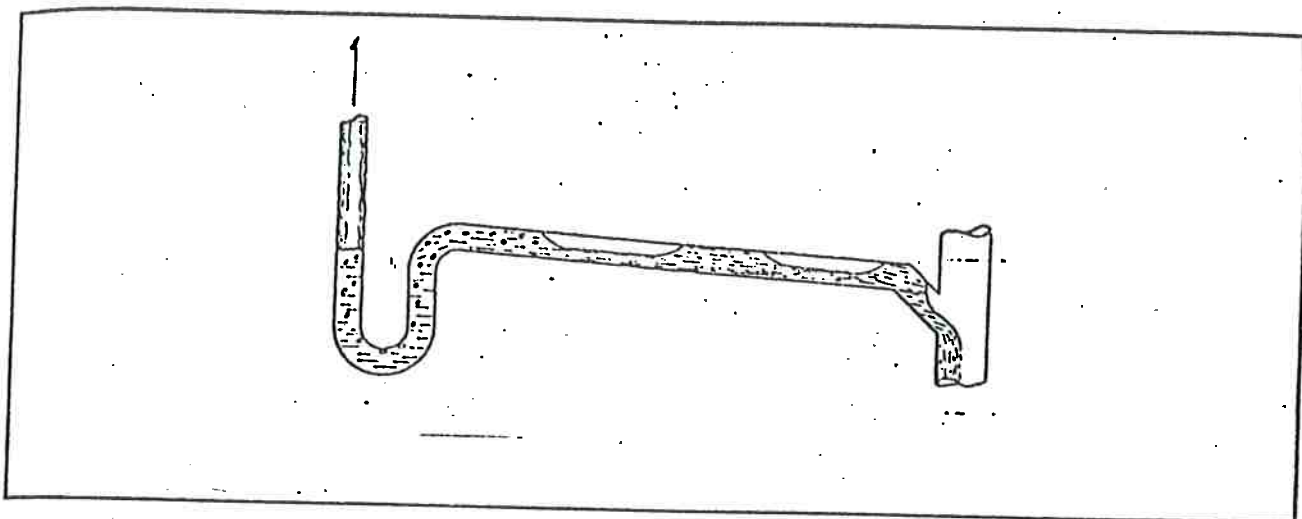


Figura 27 - Auto-sifonagem - Formação de bolsas de ar no escoamento.

A partir da constatação destes fatores, que influenciam os efeitos do fenômeno da auto-sifonagem, os pesquisadores americanos procuraram estabelecer um modelo quantitativo. O modelo proposto baseou-se na teoria da análise dimensional.

Este tipo de modelo permite relacionar uma série de variáveis intervinientes no fenômeno, combinadas ou não, estabelecendo-se funções de inter-relacionamento entre pares destas variáveis. A expressão geral da análise dimensional pode ser expressa pelo teorema de Buckingham [64], da seguinte forma:

$$\phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_r; \dots, \pi_{r-1}) = 0 \dots\dots\dots(28)$$

onde:

$\phi$  - função geral de inter-relacionamento;

- $\pi_1$  - variável adimensional combinada;  
 $r$  - número de variáveis dimensionais intervenientes;  
 $j$  - número de grandezas fundamentais.

No caso do fenómeno da auto-sifonagem, French e Eaton propuseram o seguinte modelo:

$$\left[ \frac{\Delta H}{H_0}, \frac{Q_1}{d_s^2 \sqrt{g H_0}}, \frac{H_0}{d_s}, \frac{Q_1}{d_o^2 \sqrt{g h_1}}, \frac{Q_1}{d_z^2 \sqrt{g d_z}}, \frac{I l_z}{d_z}, I \right] = 0 \dots (29)$$

onde:

- $\Delta H$  - perda de altura hídrica do fecho hídrico;  
 $H_0$  - altura hídrica inicial do fecho hídrico;  
 $Q_1$  - vazão no ramal de descarga do aparelho sanitário (lavatório);  
 $d_s$  - diâmetro do sifão (ver figura 26);  
 $d_o$  - diâmetro do orifício do aparelho sanitário;  
 $h_1$  - diferença entre o nível da superfície da água no aparelho sanitário (lavatório) e o nível do ponto onde o fluxo deságua no tubo de queda;  
 $d_z$  - diâmetro do ramal de descarga (ver figura 26);  
 $l_z$  - comprimento do ramal de descarga (ver figura 26);  
 $I$  - declividade do ramal de descarga;  
 $g$  - aceleração gravitacional.

Os pesquisadores adotaram como critério, para a consideração de perda de água de fecho hídrico, a limitação da perda relativa de fecho hídrico, assim expressa:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = 0,5 \dots\dots\dots (30)$$

Observamos que, no caso de sifão tipo P, utilizado nestas pesquisas, o volume da câmara de entrada do sifão é praticamente igual ao volume da câmara de saída. Neste caso, considerando-se o critério acima mencionado, a depressão máxima admissível é de:

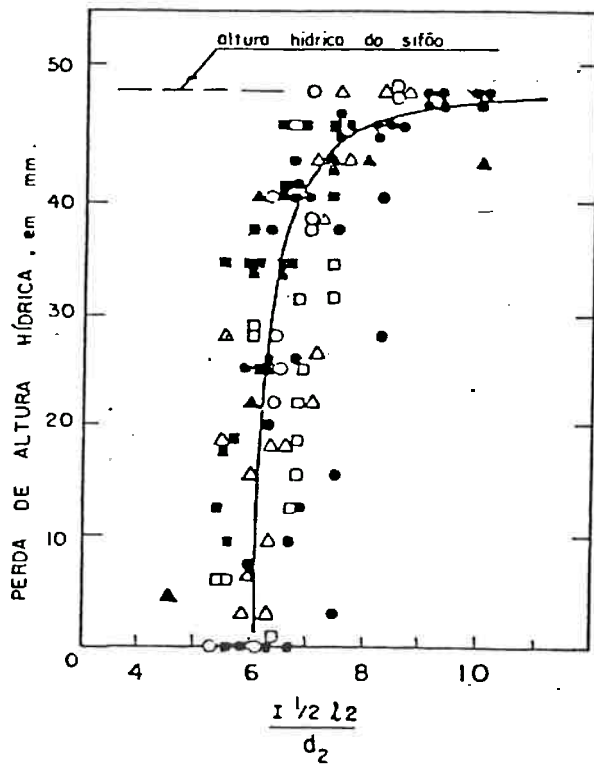
$$\Delta P = \gamma H_0 \dots\dots\dots (31)$$

Em função das variáveis adimensionais identificadas, French e Eaton inferiram uma série de conclusões a partir de ensaios laboratoriais, das quais apontamos as seguintes, como as mais relevantes:

- a perda de altura hídrica ( $\Delta H$ ) é diretamente proporcional à declividade e ao comprimento do ramal de descarga e inversamente proporcional ao diâmetro deste ramal; assim podemos escrever:

$$\Delta H = f \left( \frac{I \cdot l_2}{d_2} \right) \dots\dots\dots (32)$$

O gráfico 2 apresenta resultados, experimentais, de ensaios de auto-sifonagem em lavatórios, efetuados em diversas configurações:



- .  $d_2 = 1 \frac{1}{4}''$ ;
- . entrada no tubo de queda em t $\hat{e}$  sanit $\acute{a}$ rio;
- .  $Q_1 = 10,9$  gpm.

Gráfico 2 - Resultados de ensaios de auto-sifonagem em lavatórios segundo French e Eaton.

- fixada uma perda relativa de fecho hídrico, igual a 0,5, o comprimento máximo do ramal de descarga, sem ventilação, depende da magnitude da vazão escoada através do aparelho sanitário; os pesquisadores estudaram as seguintes relações:

$$\frac{Q_1}{d_2^2 \sqrt{g H_0}} = f_1 \left( \frac{l_2}{d_2} \right) \dots \dots \dots (33)$$

e

$$\frac{Q_1}{d_2^2 \sqrt{g d_2}} = f_2 \left( \frac{l_2}{d_2} \right) \dots \dots \dots (34)$$

Estas relações foram verificadas em diversas configurações de sistemas. As curvas apresentadas nos gráficos 3 e 4 permitem uma visualização da relação funcional entre as variáveis adimensionais acima mencionadas, expressas em (33) e (34).

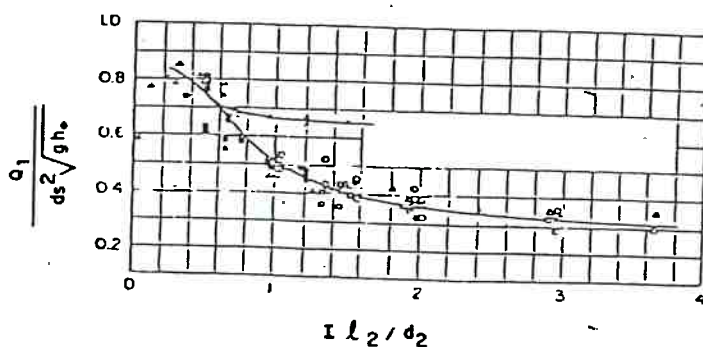


Gráfico 3 - Curvas para o cálculo do comprimento máximo de ramais de descarga, com entrada no tubo de queda em junção 45. Segundo French e Eaton.

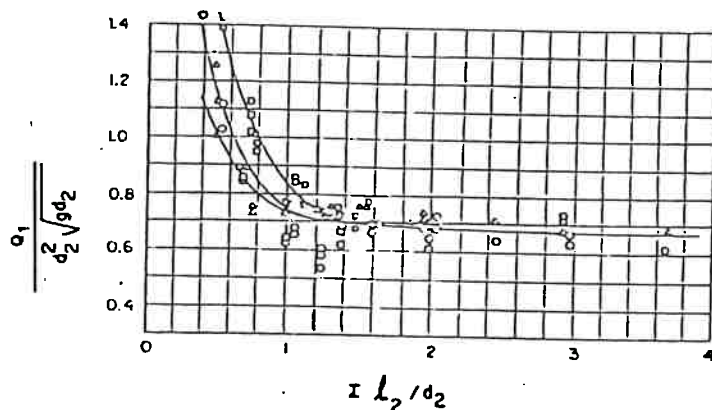


Gráfico 4 - Curvas para o cálculo do comprimento máximo de ramais de descarga, com entrada no tubo de queda em tê sanitário. Segundo French e Eaton.

Cabe salientar que as curvas apresentadas, têm, neste trabalho, apenas função ilustrativa, visto que foram determinadas para materiais e configurações específicas.

- A análise do comportamento dos gráficos 3 e 4 permite verificar que, para um dado sifão, a vazão tende assintoticamente a um valor característico; assim, existe uma vazão abaixo da qual a perda do fecho hídrico independe do comprimento do ramal de descarga não ventilado;
- a perda de altura hídrica, por auto-sifonagem, depende da altura inicial de descarga no aparelho sanitário até determinado valor (aproximadamente 75mm); descargas produzidas por níveis iniciais superiores a este determinado valor não provocam aumento da perda de altura hídrica;
- quanto maior o diâmetro do orifício de saída do aparelho sanitário, maior a perda de altura hídrica;
- aparelhos sanitários com superfície pouco inclinada provocam uma menor perda de altura hídrica, devido ao fluxo em filme que ocorre no final do escoamento;
- a forma geométrica do aparelho sanitário (lavatório) influi na magnitude da perda de altura hídrica;
- aparelhos sanitários com dispositivos de extravasão apresentam menor perda de altura hídrica;

- ramais de descarga ligados ao tubo de queda por meio de tê sanitário, induzem a uma menor perda de altura hídrica, do que se fossem interligados através de junção 45 ;
- o aparelho sanitário com maior suscetibilidade à ocorrência de auto-sifonagem é o lavatório; banheiras, pias de cozinha e bacias sanitárias apresentam perda de altura hídrica, por auto-sifonagem, praticamente irrelevantes.

A ação da auto-sifonagem foi também estudada, na Inglaterra, por A. F. E. Wise [60] e [61].

A abordagem feita por Wise, baseou-se na busca de uma formulação analítica para o fenômeno, diferindo do enfoque dado por French e Eaton, através da análise dimensional. Utilizou, para isso, a equação da quantidade de movimento, aplicada ao escoamento do "plug" de água que ocorre no ramal de descarga, conforme mencionamos anteriormente.

O pesquisador inglês estudou a ação da auto-sifonagem na perda de altura hídrica do fecho hídrico do sifão, para uma configuração geométrica semelhante à utilizada por French e Eaton. A expressão proposta por Wise é a seguinte:



$$\Delta H = 0,5 H_0 + C_m H_0 + p_m - r_m \dots \dots \dots (35)$$

onde:

- $C_m$  - constante menor do que 0,5, relativa ao volume ocupado por ar durante o processo de sifonagem;
- $p_m$  - perda de altura hídrica ocasionada pela ação do bombeamento de ar no fim do escoamento;
- $r_m$  - ganho de altura hídrica ocasionado pelo retorno de água no fim do escoamento.

Relacionando-se as variáveis  $p_m$  e  $r_m$  aos elementos característicos do ramal de descarga do aparelho sanitário (lavatório), temos a seguinte função de inter-relacionamento:

$$\Delta H - H_0 (0,5 + C_m) = p_m - r_m = f (d_m, z, I, H_0) \dots \dots \dots (36)$$

Onde  $z$  é a distância entre o fecho hídrico e o ponto onde ocorre o descolamento do "plug" de água da parede do ramal.

Várias combinações dos elementos característicos do ramal de descarga foram avaliadas, concluindo o pesquisador, que produzindo-se um gráfico com  $\Delta H - 0,75 H_0$ , em ordenadas, e  $z$ , em abscissas, e desprezando-se os efeitos de  $d_m$ ,  $I$  e  $H_0$ , o fenômeno da auto-sifonagem poderia ser satisfatoriamente bem representado por:

$$\Delta H = 0,75 H_0 + 0,011z - 10 - 300 e^{-0,011z} \dots\dots\dots (37)$$

sendo,  $\Delta H$ ,  $H_0$  e  $z$  em mm.

O gráfico 5 apresenta os resultados obtidos por Wise, nos ensaios de auto-sifonagem.

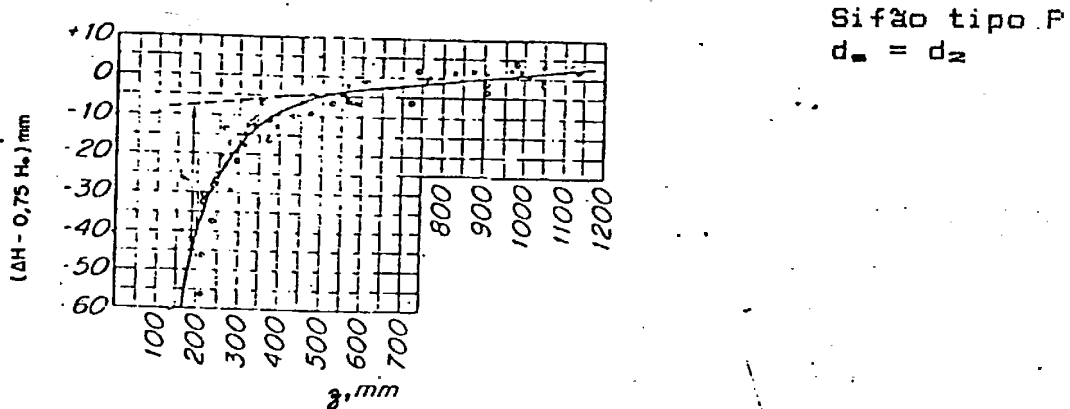


Gráfico 5 - Perda de altura hídrica devido à auto-sifonagem, segundo Wise.

Como podemos verificar, a perda de altura hídrica é fundamentalmente determinada pelo escoamento do "plug" de água ao longo do ramal de descarga.

Após a formação da bolsa de ar, no início do ramal (junto ao sifão), verifica-se que a partir de um certo instante o escoamento do "plug" cria pressões negativas na bolsa de ar. A medida que o "plug" desloca-se no ramal, aumenta o diferencial de pressão entre a jusante e a montante do mesmo. Com o ingresso da água no tubo de queda, o comprimento do "plug" diminui, reduzindo-se conseqüentemente o volume do mesmo.

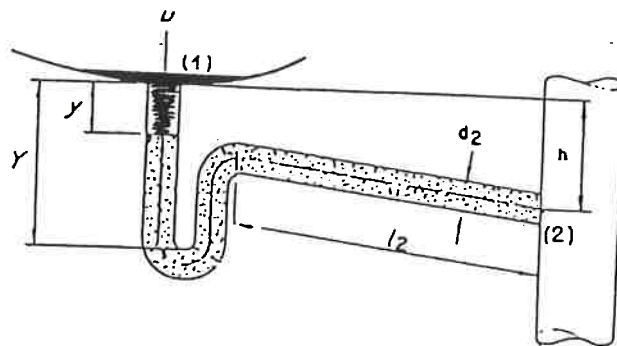
Assim, com o aumento do diferencial de pressão e com a diminuição do volume de água do "plug", no interior do ramal de descarga, à distância  $z$  do sifão, ocorre a desestabilização do "plug" de água. Nesse instante, equilibram-se as pressões no interior do ramal de descarga, acarretando a estabilização do nível de água remanescente no fecho hidráulico. No caso em que a distância  $z$  for relativamente pequena, ocorrerá eventual retorno de água do "plug" desestabilizado, para o interior da câmara de saída do sifão.

A distância  $z$  é influenciada pelo comprimento do ramal ( $l_2$ ) e pela declividade do mesmo ( $I$ ). Assim, para uma determinada configuração do sistema, a distância  $z$  depende das condições de movimentação do "plug" de água através do ramal de descarga do aparelho sanitário, e, em particular da velocidade inicial de movimentação deste "plug".

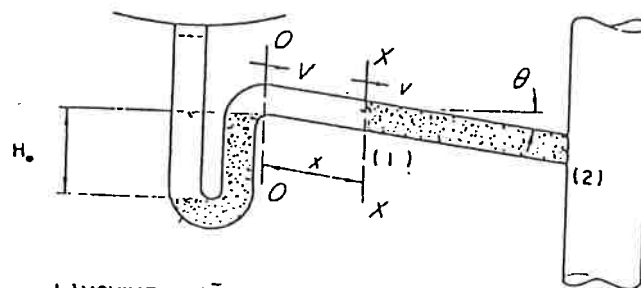
Para a configuração da figura 28, Wise analisou o movimento do "plug" de água, procurando estabelecer modelo matemático representativo do fenômeno.

Assim, para a avaliação da movimentação do "plug" de água é necessário o estudo de duas situações:

- condições do escoamento no final da descarga;
- movimento do "plug" de água, propriamente dito.



a.) CONDIÇÃO NO FINAL DA DESCARGA



$$\operatorname{tg} \theta = I$$

b.) MOVIMENTAÇÃO DO "PLUG" DE ÁGUA

Figura 28 - Movimento do "plug" de água que escoar ao longo de um ramal de descarga, segundo Wise.

Wise, analisando o escoamento até o final da descarga, e aplicando a equação de Bernoulli, nos pontos (1) e (2) da figura 28 (a), desprezando-se as forças de inércia, temos:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + 0 + \Delta h_{1,2}$$

mas,

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} = 0 \dots\dots\dots \text{pressão atmosférica;}$$

$$\frac{v_1^2}{2g} \approx 0 \dots\dots\dots \text{parcela de magnitude muito pequena;}$$

$$v \dots\dots\dots \text{velocidade no ramal de descarga.}$$

Assim:

$$h = \frac{v^2}{2g} + \Delta h_{1, 2} \dots\dots\dots (38)$$

onde:

$h$  - diferença de nível entre o orifício do aparelho sanitário e o eixo do ramal de descarga no ponto de encontro deste com o tubo de queda;

$P_1, P_2$  - pressões nos pontos (1) e (2);

$\gamma$  - peso específico da água;

$v_1, v_2$  - velocidade nos pontos (1) e (2);

$\Delta h_{1, 2}$  - perda de carga entre os pontos (1) e (2).

Temos ainda que:

$$\Delta h_{1, 2} = K_v \frac{v^2}{2g} + k \frac{l_2}{d_2} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (39)$$

sendo:

$K_{\bullet} \frac{v_2^2}{2}$  - perda de carga no sifão e dispositivos do conjunto;

$k \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2}$  perda de carga no ramal de descarga;

onde:

$K_{\bullet}$  - coeficiente de perda de carga localizada do sifão e dispositivos do conjunto;

$k$  - coeficiente de perda de carga no ramal de descarga;

admitidos constantes, para efeito prático, tendo-se em vista que os valores do número de Reynolds, são, em geral de magnitude elevada.

Temos ainda que:

$$\Delta h_{1, 2} = (K_{\bullet} + k \frac{l_2}{d_2}) \frac{v_2^2}{2} \dots \dots \dots (40)$$

Substituindo (40) em (38), temos:

$$h = \frac{v_2^2}{2g} + (K_{\bullet} + k \frac{l_2}{d_2}) \frac{v_2^2}{2} = (\frac{1}{2g} + K_{\bullet} + k \frac{l_2}{d_2}) \frac{v_2^2}{2} \dots \dots \dots (41)$$

Substituindo  $g = 9,81\text{m/s}$  em (41), podemos escrever:

$$h = C \frac{v_2^2}{2} \dots \dots \dots (42)$$

Sendo:

$$C = 0,051 + K_e + k \frac{l_2}{d_2} \dots \dots \dots (43)$$

onde:

C - coeficiente que inter-relaciona  $v_2$  e h;

logo:

$$v_2 = \sqrt{\frac{h}{C}} \dots \dots \dots (44)$$

Consideremos, agora, o movimento do "plug" de água, aplicando-se a equação de Bernoulli para movimento relativo [65], em escoamento não permanente, nos pontos (1) e (2), na configuração da figura 28 (b). Temos assim:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + (l_2 - x) \text{ sen } \theta = 0 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_{1,2} + h_{12} \dots (45)$$

mas,

$$\frac{p_1}{\gamma} = - H_0 \dots \dots \dots \text{depressão igual à altura hídrica } (H_0);$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 0 \dots \dots \dots \text{pressão atmosférica;}$$

$$\frac{v_1}{2g} = \frac{v_2}{2g} \dots\dots\dots \text{equação da continuidade;}$$

$$\Delta h_{1, 2} = k \frac{(l_2 - x)}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots \text{perda de carga no ramal de descarga no trecho } (l_2 - x);$$

$$h_{i, 2} = - (1 - x) \frac{a}{g} \dots\dots\dots \text{altura de inércia.}$$

Substituindo-se as expressões acima em (44), temos:

$$-H_0 + (l_2 - x) \text{ sen } \theta = k \frac{(l_2 - x)}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} + \frac{(1 - x)}{g} a \dots\dots\dots (46)$$

onde:

a - aceleração do "plug" de água;

x - distância entre o sifão e o "plug" de água;

$\theta$  - ângulo de inclinação do ramal de descarga ( $\text{tg } \theta = 1$ );

Sendo, ainda:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \dots\dots\dots (47)$$

$$v_2 = \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (48)$$



Substituindo-se (47) e (48) em (46), e agrupando-se os elementos, temos:

$$\frac{(l_2 - x)}{g} \frac{d^2 x}{dt^2} + k \frac{(l_2 - x)}{d_2} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + H_0 - (l_2 - x) \text{ sen } \theta = 0 \quad (49)$$

ou ainda:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{kg}{d_2} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{g}{l_2 - x} H_0 - g \text{ sen } \theta = 0 \quad (50)$$

Fazendo-se:

$$\frac{dx}{dt} = y^{1/2} \quad \text{e} \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{2} \frac{dy}{dx} \quad (51)$$

E substituindo-se (51) em (50), temos:

$$\frac{dy}{dx} + \frac{2kg}{d_2} y = 2g \text{ sen } \theta - \frac{H_0}{l_2 - x} \quad (52)$$

Multiplicando-se os dois membros pelo fator de integração

$$e^{\frac{2kg}{d_2} x} \quad \text{, temos:}$$

$$\frac{d}{dx} \left( y e^{\frac{2kg}{d^2} x} \right) = 2g \left( \text{sen } \theta - \frac{H_0}{l_2 - x} \right) e^{\frac{2kg}{d^2} x} \dots \dots \dots (53)$$

Integrando vem:

$$v_2 e^{\frac{2kg}{d^2} x} = \frac{d_2}{k} e^{\frac{2kg}{d^2} x} \left( \text{sen } \theta - 2g H_0 \int \frac{e^{\frac{2kg}{d^2} x}}{(l_2 - x)} dx + C \dots \dots (54) \right)$$

Para as condições de contorno:

$$v_2 = v, \text{ quando } x = 0 \quad \text{e}$$

$$v_2 = 0, \text{ quando } x = z.$$

Substituindo-se e eliminando-se o termo C, temos:

$$v = \frac{d_2}{k} \text{sen } \theta \left( 1 - e^{\frac{2kg}{d^2} z} \right) + 2g H_0 \int_0^z \frac{e^{\frac{2kg}{d^2} x}}{(l_2 - x)} dx \dots \dots \dots (55)$$

onde:

v - velocidade no início da formação do "plug" de água (x = 0).

Considerando-se o valor de k aproximadamente igual a zero, isto é, desprezando-se o efeito da perda de carga distribuída, temos:

$$v_z^2 = 2 g (H_0 \ln \frac{l_z}{(l_z - z)} - z \text{ sen } \theta) \dots\dots\dots (56)$$

Consideremos que a velocidade  $v_z$ , calculada pela expressão (44), seja aproximadamente igual à velocidade quando  $y = Y$ , na figura 28 (a). Na realidade esta velocidade é ligeiramente menor que  $v_z$ , estando a hipótese acima a favor da segurança. Assim, a partir das expressões (44) e (56), podemos escrever:

$$v_z^2 = v^2 \dots\dots\dots (57)$$

logo:

$$\frac{k}{C} = 2 g (H_0 \ln \frac{l_z}{(l_z - z)} - z \text{ sen } \theta) \dots\dots\dots (58)$$

Desenvolvendo-se a expressão (58), com a finalidade de obtermos o comprimento máximo  $l_z$ , sem ventilação, temos:

$$\frac{h}{2 g C H_0} + \frac{z}{H_0} \text{ sen } \theta = \ln \frac{l_z}{l_z - z} \dots\dots\dots (59)$$

Fazendo:

$$A = \frac{1}{H_0} \left( \frac{h}{2 g C} + z \text{ sen } \theta \right) \dots\dots\dots (60)$$

Substituindo (60) em (59), e reagrupando os termos da expressão teremos:

$$l_z = z \frac{1}{1 - e^{-A}} \dots\dots\dots (61)$$

A determinação do valor  $z$  (em mm) poderá ser efetuada iterativamente a partir da consideração da perda máxima da altura hídrica. Assim a expressão (37) pode ser escrita:

$$0,011z - 300 e^{-0,011z} = \Delta H_{\max} - 0,75H_0 + 10 \dots\dots\dots (62)$$

Para os valores:

$$\Delta H_{\max} > 0,75 H_0 - 5 \text{ (em mm)} \dots\dots\dots (63)$$

A expressão (62) pode ser modificada, eliminando-se o termo exponencial. Temos assim:

$$z = \frac{\Delta H_{\max} - 0,75 H_0 + 10}{0,011} \dots\dots\dots (64)$$

Desta forma, conhecendo-se a altura hídrica do sifão ( $H_0$ ) e estabelecendo-se a perda de altura hídrica máxima admissível, por auto-sifonagem, podemos determinar o valor de  $z$ , pelas expressões (62) ou (64).

Conhecendo-se os parâmetros geométricos e hidráulicos que caracterizam o sistema ( $h, C, \theta$ ) e o valor de  $z$  podemos verificar se a descarga provocará perda de altura hídrica superior ao valor máximo estabelecido ( $\Delta H_{\max}$ ).

Isto pode ser feito através da comparação entre o valor de  $l_2$ , calculado pela expressão (61), e o valor do comprimento real do ramal de descarga do aparelho.

Se o valor calculado for maior do que o comprimento real do ramal, a auto-sifonagem provocará perda de altura hidrica menor do que o valor máximo admissível.

Em caso contrário, a auto-sifonagem provocará maior perda do que o valor máximo admissível. Neste caso, há que se adotar procedimentos que garantam a manutenção da altura hidrica residual em níveis superiores ao nível mínimo correspondente  $H_0 - \Delta H_{max}$ .

Pode-se então:

- introduzir ramal de ventilação, para o equilibrio das pressões, interligado ao ramal de descarga em ponto cuja distância do fecho hidrico seja inferior ao comprimento  $l_2$  calculado pela expressão (61);
- diminuir a declividade do ramal de descarga de forma que, se obtenha valor de  $\theta$ , tal que o valor de  $l_2$  calculado seja igual ou superior ao comprimento real do ramal de descarga;
- aumentar o diâmetro do ramal de descarga de modo que o escoamento no mesmo se faça por conduto livre. Neste caso, pela não existência de fluxo a conduto forçado no ramal, elimina-se a possibilidade de ocorrência de auto-sifonagem, ficando a perda do fecho restrita ao efeito da inércia no final da descarga.

Wise [40], propôs o gráfico 6, que se segue, que relaciona inclinação do ramal de descarga e respectivo comprimento máximo ao tubo de queda, para não colocação de ventilação ou alargamento do diâmetro do ramal.

O gráfico 6 foi elaborado a partir das expressões anteriormente apresentadas, para sifões tubulares tipo P, com diâmetro de 32mm (1 1/4") e ramal de descarga de 32mm (1 1/4"), para lavatórios e, considerando:

$$H_0 = 75\text{mm (3")};$$

$$\Delta H_0 = 50\text{mm (2")};$$

admitindo fecho hidrico residual de 25mm (1").

Cumprе notar que os resultados obtidos por Wise, permitem um bom entendimento do fenômeno e consequente explicação do mesmo. A utilização prática, a nível de projeto, não pode ser generalizada, havendo ainda, muitos passos a caminhar para que o conhecimento do fenômeno e a manipulação das variáveis intervenientes, sejam precisamente definidos.

Podemos, no entanto, a partir das conclusões de French, Eaton e Wise estudar, com relativa segurança, os problemas relacionados com a perda de fecho hidrico e auto-sifonagem.

Os trabalhos mais recentes, sobre o assunto, abordam alguns pontos antes não evidenciados. Kanasugi e Kiya [62] estudaram os

efeitos da auto-sifonagem em sifões tipo S considerando as situações de descarga, normalmente utilizadas, para uso dos aparelhos sanitários, a saber:

- válvula de orifício aberta e água corrente;
- válvula de orifício fechada e água em repouso no interior da cuba.

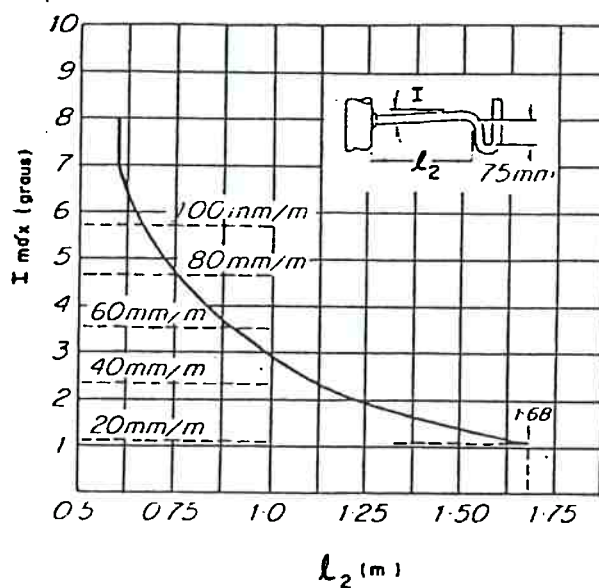


Gráfico 6 - Inclinação do ramal de descarga e respectivo comprimento máximo até o tubo de queda, segundo Wise.

As conclusões dos pesquisadores foram basicamente, as seguintes:

- a perda de altura hidrica não é tão significativa em aparelhos com superfície de fundo de pequena declividade como o é em aparelhos com inclinação de fundo acentuada;
- o aumento do diâmetro do ramal de descarga é uma medida efetiva contra a perda de altura hidrica devido à auto-sifonagem;
- a perda de altura hidrica é influenciada pelo tipo de dispositivos utilizados;

- em situação de descarga, com válvula de orifício aberta e água corrente, não há variação significativa da altura hídrica inicial;
- o movimento da água no interior da cuba (ex.: ação do vórtice) influencia a ação da auto-sifonagem bem como a duração da descarga.

As conclusões, enunciadas pelos pesquisadores japoneses, confirmam os conceitos desenvolvidos pelos pesquisadores americanos e ingleses.

Há que se ressaltar que a utilização dos lavatórios, no Brasil, se faz fundamentalmente com água corrente, sendo esporádica a reservação de água no interior da cuba do lavatório. Assim, a constatação de Kanasugi e Kiya, relativa à pequena perda de altura hídrica quando a descarga ocorre com a presença de água corrente, é de importância significativa para o estudo de auto-sifonagem nos aparelhos sanitários utilizados no Brasil.

Wakelin e Adesanya [63], pesquisaram os efeitos da auto-sifonagem na perda de altura hídrica para sifões tubulares (tipo P e S) e para sifões de garrafa, considerando os seguintes fatores:

- efeito do tipo de sifão; concluindo que os sifões que produzem maior perda de altura hídrica, por auto-sifonagem, são pela ordem o sifão tipo S, o tipo P e o tipo garrafa, este último apresentando perdas hídricas de pequena magnitude;



- efeito da redução da área do orifício de descarga do aparelho sanitário; concluindo que a diminuição da área útil do orifício de saída provoca a diminuição da vazão e consequente minimização do efeito de perda hídrica dos sifões;
- efeito da utilização de sifões especiais, com recuperação da altura hídrica (ver figura 29); concluindo que a utilização destes sifões especiais minimizam a redução da altura hídrica, provocando, entretanto, ruídos indesejáveis.

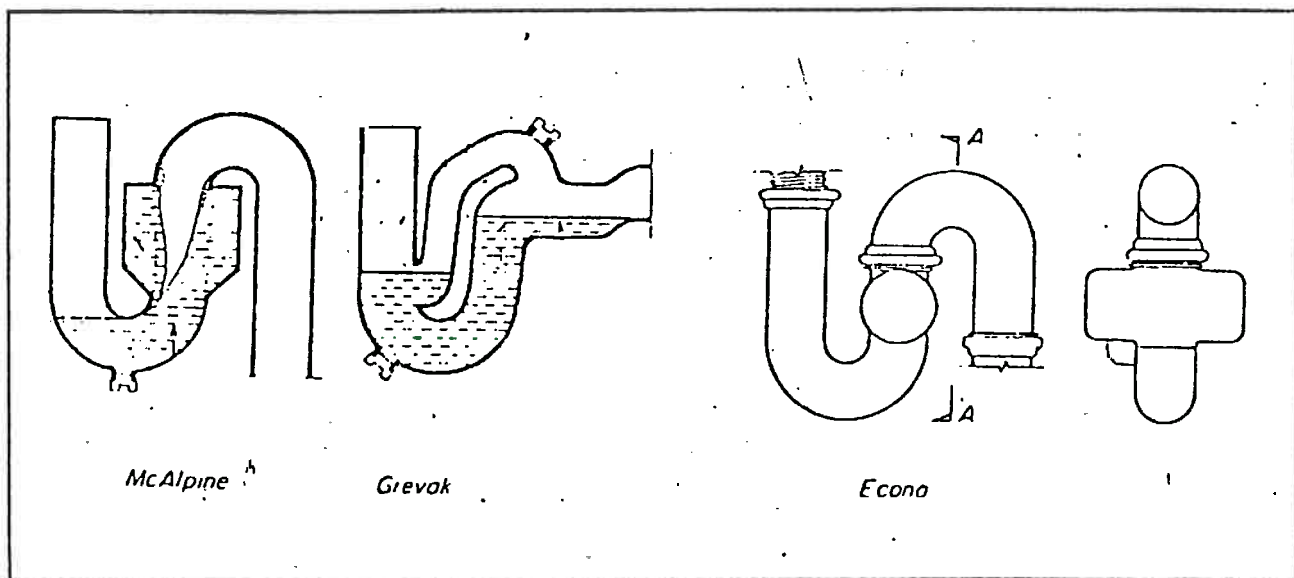


Figura 29 - Sifões especiais, com recuperação da altura hídrica.

- efeito da redução da inclinação da superfície de fundo dos aparelhos sanitários; concluindo que a utilização de aparelhos sanitários com fundo plano reduz sensivelmente a perda de altura hídrica, na auto-sifonagem.

Podemos, então, comentar que conforme apresentado, o fenômeno de auto-sifonagem é complexo e de difícil equacionamento teórico que o represente com fidelidade.

Aclara-se, no entanto, que a auto-sifonagem é produzida com maior ou menor intensidade, em função das características geométricas da configuração da instalação. Influenciam basicamente a auto-sifonagem, as características do aparelho sanitário, o diâmetro, o comprimento e a inclinação do ramal de descarga e as características do sifão.

O controle dos efeitos da auto-sifonagem pode ser exercido através da coordenação dos parâmetros que intervêm no fenômeno, não sendo condição necessária a existência de uma rede de ventilação.

#### 6.3.2 - Sifonagem induzida e sobrepressão

Estudemos a ocorrência do fenômeno da sifonagem induzida e de sobrepressão nos fechos hidricos, procurando estabelecer parâmetros que orientem a determinação dos fechos hidricos necessários.

Como definimos anteriormente, o fenômeno da sifonagem induzida refere-se à redução de fecho hidrico de um sifão, ocasionada pelo escoamento de outros aparelhos sanitários, não ligados diretamente a este sifão.

A sifonagem induzida, no fecho hídrico de um determinado aparelho sanitário, ocorre devido à ação da descarga de outros aparelhos sanitários, de forma a provocar depressões sobre o fecho hídrico.

A sifonagem induzida pode, então, ocorrer nas seguintes situações:

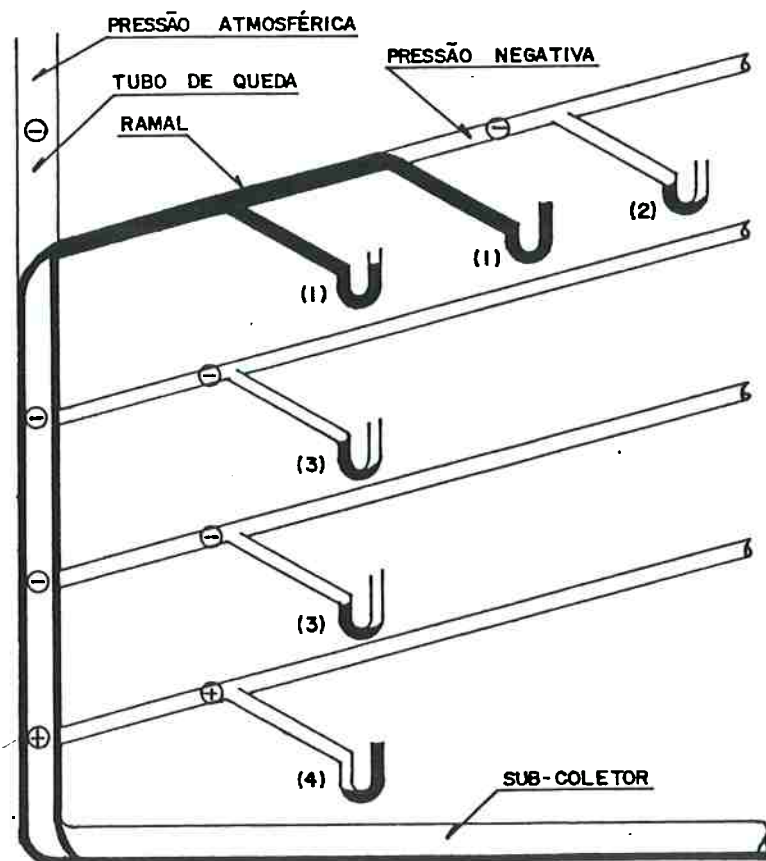
- descarga simultânea de diversos aparelhos sanitários ligados a um mesmo ramal, de forma que o fluxo se estabeleça à secção plena, provocando depressões nos fechos hídricos de aparelhos sanitários inoperantes, ligados a montante neste mesmo ramal;
- ocorrência de escoamento no tubo de queda, proveniente da descarga de aparelhos sanitários situados em outros pavimentos, provocando depressões nos fechos hídricos de aparelhos sanitários inoperantes.

A sobrepressão, no fecho hídrico de um determinado aparelho sanitário, ocorre, fundamentalmente, devido à ação da descarga de outros aparelhos sanitários, de forma a provocar pressões positivas de ar sobre o fecho hídrico.

Este fenómeno, em geral, acontece nas mudanças bruscas de direção do tubo de queda, devido ao bloqueio da passagem do fluxo de ar que se desenvolve no interior da tubulação. A ocorrência de sobrepressões pode provocar o retorno de espuma para o interior dos aparelhos sanitários ligados a trechos da tubulação passíveis de ocorrência desta sobrepressão.

A figura 30 apresenta situações de ocorrência de sifonagem induzida e sobrepressão.

Consideremos um sifão tipo P, que na situação de ausência de descargas no sistema, esteja com o fecho hidráulico em equilíbrio na posição de altura hídrica máxima (ver figura 31 (a1)), estando sob pressão atmosférica as superfícies livres das câmaras de entrada e de saída do sifão.



- (+) pressão positiva;
- (1) aparelhos sujeitos à auto-sifonagem;
- (2) aparelho sujeito à sifonagem induzida, devido ao fluxo no ramal;
- (3) aparelho sujeito à sifonagem induzida, devido ao fluxo no tubo de queda;
- (4) aparelho sujeito à sobrepressão devido ao fluxo no tubo de queda.

Figura 30 - Sifonagem induzida e sobrepressão - Caracterização dos fenômenos.

Submetendo-se o ramal de descarga a uma pressão negativa, menor do que a atmosférica, poderá ocorrer perda de altura hídrica. No caso deste ramal ser solicitado por uma pressão de ar positiva, maior do que a pressão atmosférica, poderá ocorrer borbulhamento de ar através de fecho hídrico [66]. Neste caso, a perda de altura hídrica será ocasionada pela oscilação do nível de água da câmara de saída do sifão, quando retirarmos o diferencial de pressão positiva (sobrepessão).

Evidentemente, a altura hídrica do sifão deve ser estabelecida em função das magnitudes destas depressões e sobrepressões, não sendo estes, logicamente, os únicos fatores a serem considerados.

Suponhamos que o sifão tipo P, acima mencionado, tenha o nível de água da sua câmara de saída solicitado por uma depressão de magnitude  $p_a - \Delta p$  (ver figura 31(a2)).

Podemos então escrever que:

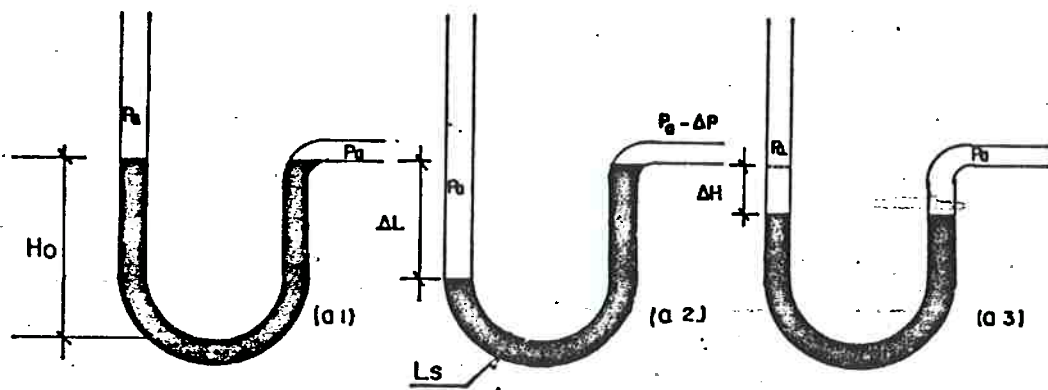
$$\Delta L = \frac{1}{\gamma} \Delta p \dots\dots\dots (65)$$

onde:

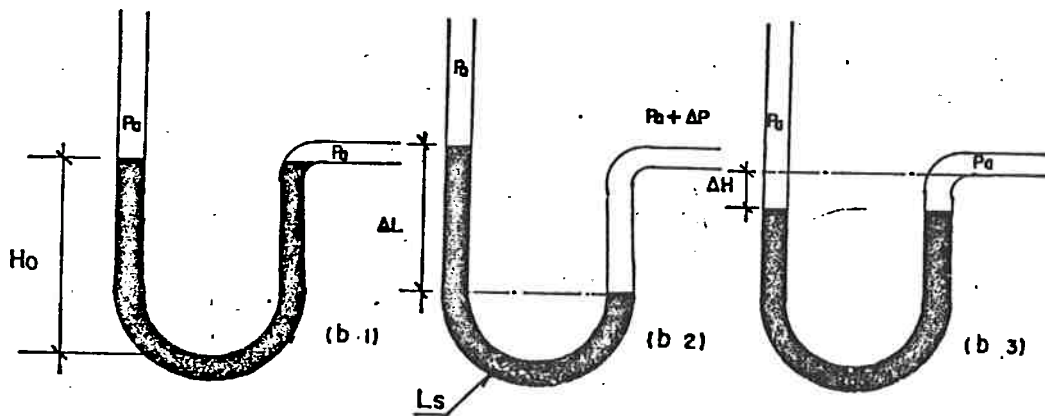
$\Delta L$  - desnível entre o nível de água da câmara de entrada e o da câmara de saída do sifão, durante a ocorrência do fenômeno de sifonagem induzida ou sobrepressão;

$\Delta p$  - diferencial de pressão devido à ocorrência do fenômeno de sifonagem induzida ou sobrepressão;

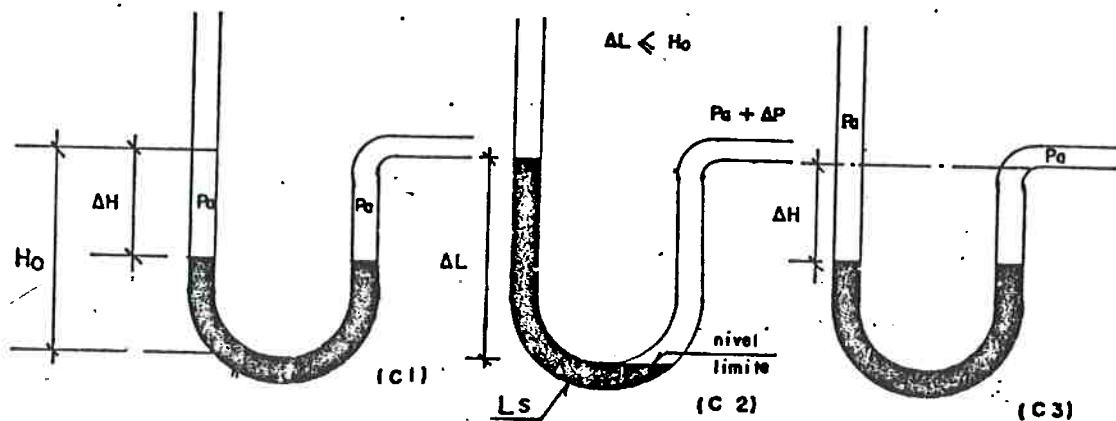
$P_a$  - pressão atmosférica;



(a) - sifonagem induzida sobre sifão com altura hídrica máxima;



(b) - sobrepressão sobre sifão com altura hídrica máxima;



(c) - sobrepressão sobre sifão com altura hídrica residual.

Figura 31 - Ação de sifonagem induzida e sobrepressão em sifões tipo P.

Suprimindo-se a ação exercida pela pressão diferencial  $p$ , fica o fecho hidráulico sujeito à oscilação das colunas de água, da câmara de entrada e de saída do sifão, até a estabilização dos níveis das câmaras do fecho hidráulico, observando-se uma perda de altura hidráulica de magnitude  $\Delta H$  (ver figura 31 (a3)). Apresentamos a expressão que pode ser utilizada para a determinação do período desta oscilação [67], [68], [69].

Temos assim:

$$T_{\bullet} = 2\pi \sqrt{\frac{L_{\bullet}}{2g}} \dots\dots\dots (66)$$

ou:

$$T_{\bullet} \cong \sqrt{2 L_{\bullet}} \dots\dots\dots (67)$$

onde:

$T_{\bullet}$  - período de oscilação da coluna hidráulica, em s.

$L_{\bullet}$  - comprimento desenvolvido do eixo da coluna hidráulica armazenada no sifão, em m.

Schlag e van Peeterssen [70], efetuaram ensaios experimentais confirmando, experimentalmente, a expressão (67), para sifões com câmaras de entrada e saída com o mesmo diâmetro, conforme podemos verificar no gráfico 7 (a). Para sifões com câmaras de diâmetros diferentes, os pesquisadores observaram um determinado deslocamento da curva que inter-relaciona  $f_1(L_{\bullet})$  e  $f_2^2(T_{\bullet})$ ,

gráfico 7 (b), relativamente às curvas do gráfico 7 (a), muito embora o coeficiente angular tenha se mantido o mesmo, ou seja, aproximadamente igual a 1.

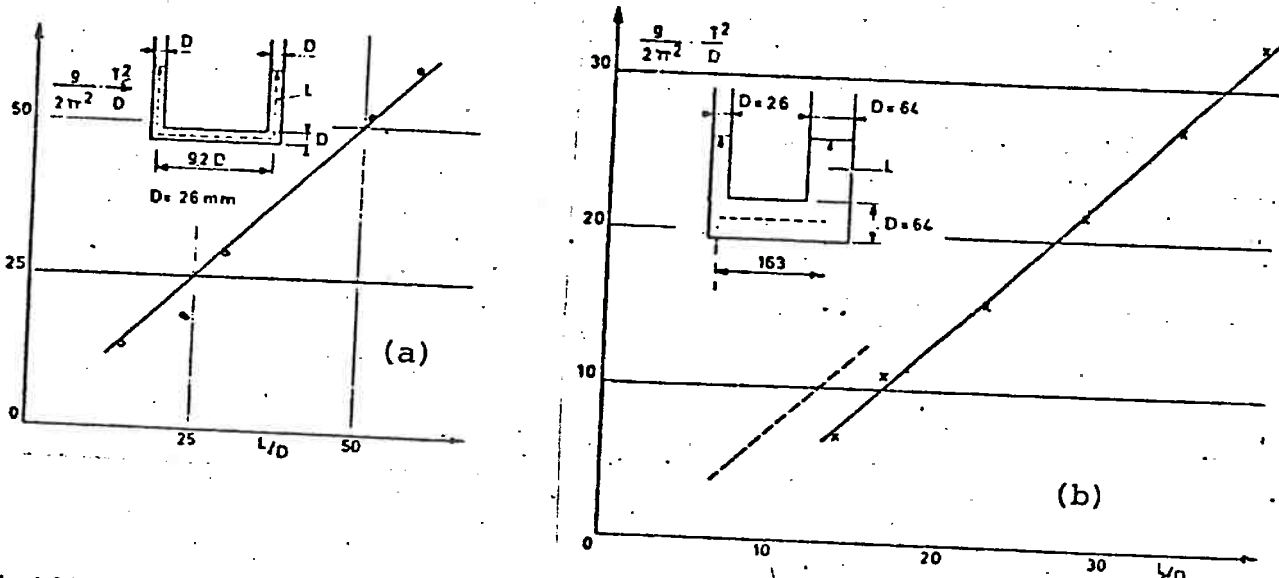


Gráfico 7 - Curvas de  $f_1(L_2) \times f_2(T_z)$ , segundo Schlag e van Peeterssen.

O estudo da oscilação da coluna hídrica de um sifão tem importância no estabelecimento da perda de altura hídrica quando da ocorrência de sobrepressão, como veremos a seguir.

Suponhamos que o sifão em consideração esteja, inicialmente, na situação de repouso, conforme figura 31 (b1). Aplicando-se uma pressão  $P_m + \Delta P$  no nível de água da câmara de saída do sifão, ocorrerá um desnível  $\Delta L$ , entre os níveis de água das câmaras do sifão. Para esta situação podemos aplicar, também, a expressão (65).

Neste caso, ou seja, na ocorrência de sobrepressão, podemos verificar pela figura 31 (b2), que o deslocamento da coluna



hídrica se dá, para montante do sifão, não provocando perda de água neste estágio, o que difere, fundamentalmente, do estágio correspondente na condição de sifonagem induzida, quando, para a manutenção do estado de equilíbrio, ocorre a perda hídrica.

Suprimindo-se a ação exercida pela pressão diferencial  $\Delta p$ , fica o fecho hídrico, sujeito à oscilação de sua coluna hídrica, de maneira análoga à anteriormente descrita.

Pode ocorrer, então, perda de água devido à oscilação da coluna hídrica do sifão, pelo fato do nível de água na câmara de saída atingir cota superior à da crista do sifão. Esta perda hídrica se dará na metade do primeiro ciclo, ou seja, quando:

$$t_s \approx \frac{T_s}{2} \approx \pi \sqrt{\frac{L_s}{2g}} \dots \dots \dots (68)$$

onde:

$t_s$  - período de tempo decorrido até a perda hídrica quando da ocorrência de sobrepressão.

Utilizando-se as expressões apresentadas por Mc Nown em [67], onde o autor estuda oscilações em tubos na forma de U, podemos então procurar estimar as magnitudes das perdas hídricas, provocadas pelo processo oscilatório, no caso do fenômeno de sobrepressão.

Consideremos, a aplicação de um diferencial de pressão positiva igual a  $\Delta P$ , instantânea. Estudemos, então, o movimento oscilatório após a retirada desta pressão desconsiderando-se o efeito da resistência por atrito, de pequena magnitude, tanto em regime laminar quanto em regime turbulento.

O equilíbrio de forças que se estabelece quando se realiza o movimento oscilatório, não se considerando a força de atrito, bem como, forças externas, pode ser assim expresso:

$$F_R = P \dots\dots\dots (69)$$

sendo:

$$F_R = - \rho A_m L_m \frac{d^2 z}{dt^2} \dots\dots\dots (70)$$

e

$$P = \rho g (Zz A_m) \dots\dots\dots (71)$$

onde:

$F_R$  - força resultante;

$P$  - peso da massa de água que provoca o movimento;

$A_m$  - área da secção transversal do sifão.

Substituindo-se (70) e (71) em (69), e efetuando-se as simplificações possíveis, temos:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{2g}{L_s} z = 0 \dots\dots\dots (72)$$

A solução da equação diferencial (72) é a seguinte:

$$\frac{z}{Z} = \cos \sqrt{\frac{2g}{L_s}} t \dots\dots\dots (73)$$

onde:

$z$  - posição da superfície da água da câmara de entrada, com relação à posição de equilíbrio, após o tempo  $t$  do início da ocorrência da oscilação;

$Z$  - posição inicial da superfície da água da câmara de entrada, com relação à posição de equilíbrio ( $t = 0$ ).

A figura 32 apresenta o sifão P com os elementos já identificados.

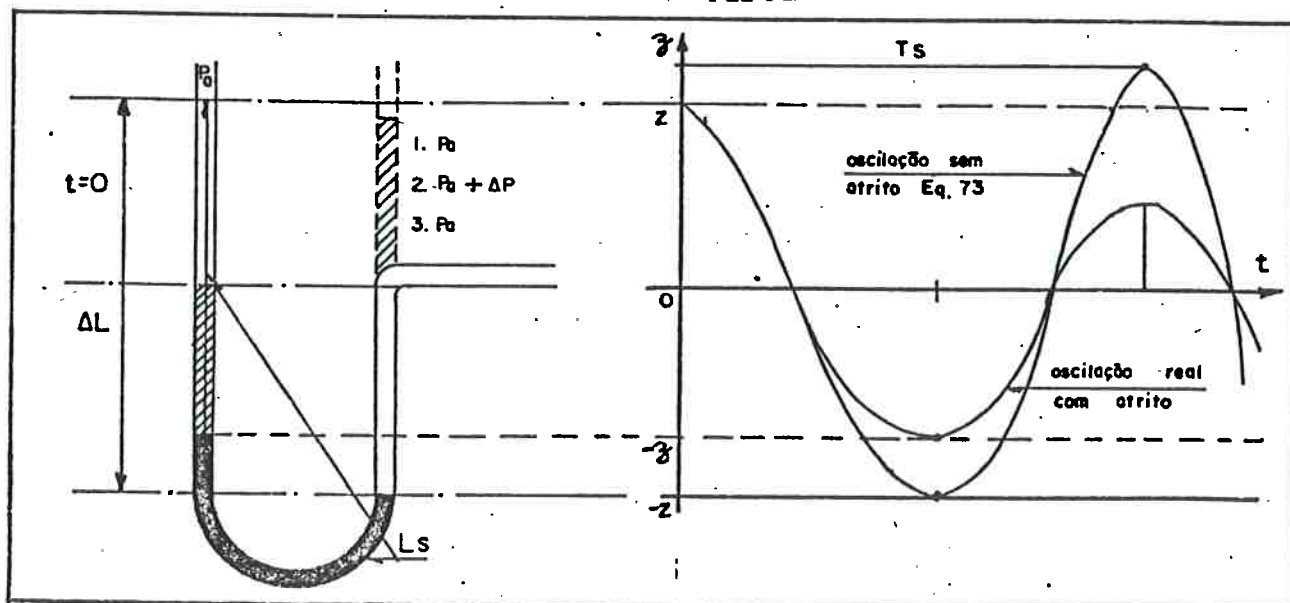


Figura 32 - Sobrepressão - oscilação da coluna hídrica.

Consideremos a perda de altura hídrica  $\Delta H$ , função da posição da superfície da água da câmara de entrada do sifão, no instante  $t = t_0$ . Neste instante, onde a coluna de montante estaria com sua superfície em  $-z$ , a coluna de jusante estaria virtualmente na posição  $+z$ . Admitindo-se a hipótese, a favor da segurança, de que a água que ultrapassar o nível zero da câmara de saída seja perdida, podemos calcular a perda de altura hídrica, desprezando-se a variação de  $L_w$ , possíveis variações de pressão e a parcela de água que eventualmente possa retornar. Temos assim, na situação da figura 31 (b3):

$$z = 2 \Delta H \dots\dots\dots (74)$$

e

$$z = \frac{\Delta L}{2} \dots\dots\dots (75)$$

Substituindo-se as expressões (65), (68), (74) e (75) em (73), e trabalhando-se com valores em módulo, vem:

$$2 \Delta H = \frac{1}{2} \frac{\Delta P}{\gamma} \cos \left( \sqrt{\frac{2g}{L_w}} \pi \sqrt{\frac{L_w}{2g}} \right) \dots\dots\dots (76)$$

logo:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{4 \gamma} \dots\dots\dots (77)$$

Desta forma, podemos estimar, a favor da segurança, a perda de altura hídrica, para sifões tubulares, inicialmente com altura hídrica total ( $H_0$ ), utilizando-se a expressão (77).

As considerações relativas à perda de altura hídrica, quando da ocorrência de sobrepressão, não confirmam a análise do fenômeno efetuada por Eaton e apresentada em Manas [66]. Isto se deve ao fato de que Eaton não considerou, em sua análise, o efeito do movimento oscilatório, concluindo que após a retirada do diferencial de pressão  $\Delta p$ , os níveis de água nas câmaras do sifão retornariam às posições iniciais, sem qualquer perda de fecho hídrico, exceto a perda de uma quantidade insignificante de água, devida ao retorno do nível de água à posição inicial. Tais considerações conduziram o pesquisador a admitir que o diferencial de pressão positiva máximo  $\Delta p$  para que não haja passagem de ar de jusante para montante do sifão, através do colo inferior do mesmo, deveria corresponder a um valor de  $\Delta L$  igual a  $2H_0$ .

Esta afirmação é válida somente no caso em que a altura hídrica do sifão esteja no seu valor máximo  $H_0$ . Caso contrário, ou seja, quando a altura hídrica tem valor menor do que  $H_0$ , haverá passagem de ar para o interior do ambiente sanitário, quando ocorrer a solicitação de um diferencial de pressão positiva igual ou até um pouco menor que  $\Delta p$  igual a  $2\gamma H_0$ . O exame mais detalhado desta situação, tornará mais claro o exposto.

Consideremos a situação inicial do fecho hídrico, como mostrado na figura 31 (c1), onde o fecho hídrico sofreu, anteriormente, a ação de uma depressão ou sobrepressão, tendo sido perdida uma altura  $\Delta H$ . A aplicação de uma nova pressão positiva  $\Delta p$ , elevará a coluna hídrica da câmara de entrada para um valor  $\Delta L$ . Se

considerarmos que, para que o bloqueio de entrada do ar seja efetivo, o nível de água na câmara de saída não deverá ser inferior ao do colo do sifão, como assinalado na figura 31 (c2). Se  $\Delta L$  for menor ou igual a  $H_0$  podemos afirmar que não haverá perda hídrica, retornando as superfícies das câmaras do sifão, a seus níveis iniciais (ver figura 31 (c3)).

Podemos concluir então, do exposto, que o diferencial máximo de pressão positiva  $\Delta p$  deve ser igual a  $\gamma H_0$ , pois as seguintes condições devem ser obedecidas:

- não deverá ocorrer a passagem de ar de jusante para montante do sifão, logo:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} \leq 2 (H_0 - \Delta H) \dots\dots\dots (78)$$

- não deverá ocorrer perda de altura hídrica adicional, independentemente da magnitude de  $\Delta p$ , quando:

$$\Delta H \geq \frac{H_0}{2} \dots\dots\dots (79)$$

Assim o valor máximo de  $\Delta p/\gamma$  em (78) acontece quando  $\Delta H$  em (79) é mínimo, logo:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} \leq 2 \left( H_0 - \frac{H_0}{2} \right) \dots\dots\dots (80)$$

ou

$$\frac{\Delta P}{\gamma} \leq H_0 \dots\dots\dots (81)$$

Desta forma o diferencial de sobrepressão máximo deve ser igual a  $\gamma H_0$  e não  $2 \gamma H_0$ .

Se considerássemos como limite de  $\Delta p$  o valor  $2 \gamma H_0$ , poderia acontecer efetivamente a passagem do ar, bastando para isso que ocorresse duas sobrepressões sucessivas de magnitude  $2 \gamma H_0$ . Temos assim:

- 1a. ocorrência de  $\Delta p = 2 \gamma H_0$ , estando a altura hídrica em seu nível máximo igual a  $H_0$ :

$$\Delta H = 0 \quad \text{e} \quad \Delta p = 2 \gamma H_0$$

pela expressão (77), vem:

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{4 \gamma} = \frac{2 \gamma H_0}{4 \gamma} = \frac{H_0}{2},$$

após a retirada da pressão  $\Delta p$ .

- 2a. ocorrência de  $\Delta p = 2 \gamma H_0$ , estando a altura hídrica com valor igual a  $H_0/2$ :

$$\Delta H = \frac{H_0}{2} \quad \text{e} \quad \Delta p = 2 \gamma H_0$$

pela expressão (78), para que não houvesse passagem de ar de jusante para montante do sifão, deveríamos ter:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} < 2 (H_0 - \Delta H)$$

sendo  $\Delta H = \frac{H_0}{2}$  e  $\frac{\Delta P}{\gamma} = 2H_0$ , vem  $2H_0 \leq H_0 !!$

o que é uma inverdade e conseqüentemente não se verificando a desigualdade da expressão (78). Assim, a segunda ocorrência de  $\Delta p = 2\gamma H_0$  implicará na passagem de ar pelo sifão, de jusante para montante, podendo causar retorno de odores por borbulhamento ou retorno de espuma ao interno dos aparelhos sanitários.

Consideremos, agora, as ocorrências de valores de  $\Delta p$  iguais a  $\gamma H_0$ . Temos assim:

- 1a. ocorrência de  $\Delta p = \gamma H_0$ , estando a altura hidrica em seu nível máximo igual a  $H_0$ :

$$\Delta H = 0 \quad \text{e} \quad \Delta p = \gamma H_0$$

pela expressão (77), vem:

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta P}{4\gamma} = \frac{\gamma H_0}{4\gamma} = \frac{H_0}{4},$$

após a retirada da pressão  $\Delta p$ .

- 2a. ocorrência de  $\Delta p = \gamma H_0$ , estando a altura hidrica com valor igual a  $3H_0/4$ :

$$\Delta H_1 = \frac{H_0}{4} \quad \text{e} \quad \Delta p = \gamma H_0,$$

a perda de altura hidrica acumulada, devido à segunda ocorrência de  $\Delta p$ , pode ser expressa por:



$$\Delta H_2 = \Delta H_1 + \left( \frac{\Delta L_2}{2} - \Delta H_1 \right) = \frac{\Delta L_2}{2}$$

mas,  $\Delta L_2 = H_0$ , logo:  $\Delta H_2 = \frac{H_0}{2} > \Delta H_1$

- 3a. ocorrência de  $\Delta p = \gamma H_0$ , estando a altura hídrica com valor igual a  $H_0/2$ ; verifiquemos as seguintes condições:

- não haverá perda de altura adicional:

$$\Delta H_3 = \Delta H_2 + \left( \frac{\Delta L_3}{2} - \Delta H_2 \right)$$

mas  $\Delta L_3 = H_0$  e  $\Delta H_2 = \frac{H_0}{2}$ , logo:

$$\Delta H_3 = \Delta H_2 \quad \text{logo,} \quad \Delta H_3 - \Delta H_2 = 0 \quad \text{O.K. !}$$

confirmando-se assim que novas aplicações de  $\Delta p = \gamma H_0$  não ocasionarão perdas adicionais de fecho hídrico;

- não deverá ocorrer passagem de ar pelo sifão, de jusante para montante; aplicando-se a expressão (78) temos:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} < 2 (H_0 - \Delta H)$$

sendo  $\Delta H_3 = \frac{H_0}{2}$  e  $\frac{\Delta p}{\gamma} = H_0$ , vem  $H_0 < H_0$ , O.K. !

confirmando, assim, que o diferencial de sobrepressão máximo  $\Delta p = \gamma H_0$ .

O estudo apresentado, relativo ao movimento oscilatório das superfícies das câmaras do sifão, que ocorre quando cessa a ação do diferencial de pressão  $\Delta p$ , é válido somente para sifões tubulares com câmaras iguais, considerando que a aplicação da pressão  $\Delta p$  se faça instantaneamente, com magnitude constante sobre o fecho hídrico em repouso e sejam desprezadas as forças de inércia que permitem aplicar a lei de Stevin.

Pretendemos ter focado, neste item do trabalho, os principais aspectos conceituais relacionados com a ocorrência dos fenômenos de sifonagem induzida e sobrepressão, com ênfase nas ações sobre os fechos hídricos.

Estudaremos, a seguir, o comportamento dos fechos hídricos, em geral, quando submetidos à variações de pressão, tanto sob o ponto de vista estático como o dinâmico.

#### 6.4 - Resistência dos fechos hídricos com relação às variações de pressão no interior dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

Estudamos, em 6.2 e 6.3, as ações a que podem estar submetidos os fechos hídricos. Nesta parte do trabalho, procuraremos analisar o comportamento dos fechos hídricos quando submetidos à ação de diferenciais de pressão, positivos ou negativos, considerando:

- as características geométricas do sifão;
- as condições de aplicação dos diferenciais de pressão.

Os trabalhos científicos, abordando o assunto, são relativamente recentes. Estes trabalhos apresentam enfoques distintos, e não criam metodologia unificada de abordagem. Entretanto, pudemos através dos mesmos, obter importantes subsídios para o desenvolvimento de nosso estudo.

Schlag [70] e [71], Asano e Kiya, [72] e Apslund e Olson [73], procuraram desenvolver modelos matemáticos e experimentais analisando o efeito dinâmico das pressões sobre os fechos hidráulicos. Christiansen [58], procurou estabelecer os limites de pressão que os sifões dinamarqueses poderiam suportar.

Passemos, então, ao estudo da resistência dos fechos hidráulicos com relação às variações de pressão no interior dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

Consideremos um sifão, em estado passivo, isto é, sujeito à sifonagem induzida ou sobrepressão, conforme figura 33. As características geométricas do sifão são as seguintes:

- $V_{e1}$  - volume da câmara de entrada do sifão;
- $V_{e2}$  - volume da câmara de saída do sifão;
- $V_{e0}$  - volume da câmara inferior do sifão;
- as secções transversais das câmaras de entrada e saída do sifão são uniformes, através da extensão vertical das mesmas.

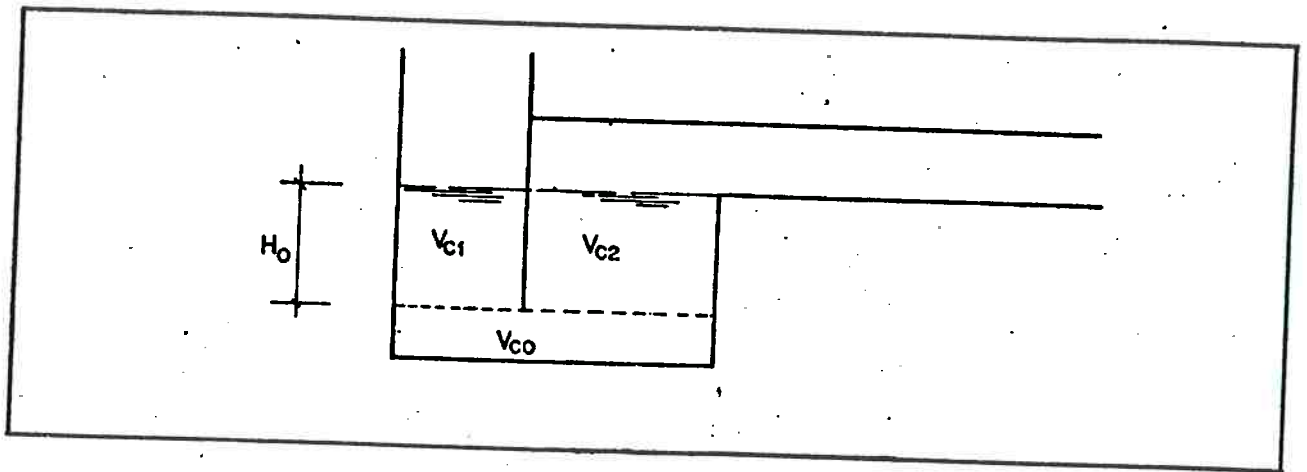


Figura 33 - Sifão com câmaras de volumes diferentes.

Estudemos, inicialmente, a aplicação de uma depressão  $\Delta p_{-1}$ , com magnitude constante, efetuando-se a análise da situação estática.

Da expressão (65), podemos escrever:

$$\Delta p_{-1} = \gamma \Delta L \dots\dots\dots (82)$$

onde:

$\Delta p_{-1}$  - diferencial de pressão devido à sifonagem induzida;

$\Delta L$  - desnível entre o nível de água da câmara de entrada e o da câmara de saída durante a ocorrência de sifonagem induzida.

Consideremos as seguintes situações:

$\Delta L \ll H_0$  - não ocorre a passagem de ar pelo sifão, de montante para jusante;

$\Delta L > H_0$  - ocorrência de passagem de ar pelo sifão, de montante para jusante.

Passemos à análise da primeira situação, ou seja  $\Delta L < H_0$  e pressão negativa  $\Delta p_{-1}$ . Nestas condições, temos:

$$\frac{\Delta V_e}{\Delta L} = \frac{V_{e1}}{H_0} \dots \dots \dots (83)$$

onde:

$\Delta V_e$  - volume de água perdido no sifão, devido à uma depressão  $\Delta p_{-1}$ .

Assim:

$$\Delta V_e = V_{e1} \frac{\Delta L}{H_0} \dots \dots \dots (84)$$

Substituindo-se (82) em (84), temos:

$$\Delta V_e = \frac{V_{e1} \Delta p_{-1}}{\gamma H_0} \dots \dots \dots (85)$$

Retirando-se, instantaneamente, a depressão  $\Delta p_{-1}$  a perda de altura hídrica será igual à  $H$ . Podemos, então, escrever:

$$\frac{\Delta V_e}{\Delta H} = \frac{V_{e1} + V_{e2}}{H_0} \dots \dots \dots (86)$$

ou

$$\Delta H = \frac{H_0}{V_{c1} + V_{c2}} \Delta V_c \dots \dots \dots (87)$$

Substituindo-se (85) em (87), vem:

$$\Delta H = \frac{H_0}{V_{c1} + V_{c2}} \frac{V_{c1} \Delta P_{=1}}{\gamma H_0} \dots \dots \dots (88)$$

ou

$$\Delta H = \frac{\Delta P_{=1}}{\gamma \left(1 + \frac{V_{c2}}{V_{c1}}\right)} \dots \dots \dots (89)$$

Fazendo-se:

$$r_{=0} = \frac{V_{c2}}{V_{c1}} \dots \dots \dots (90)$$

onde:

$r_{=0}$  - relação entre os volumes da câmara de saída e da câmara de entrada do sifão.

Substituindo-se (90) em (89), vem:

$$\Delta H = \frac{\Delta P_{=1}}{\gamma (1 + r_{=0})} \dots \dots \dots (91)$$

Considerando-se  $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$ , teremos:

$$\Delta H = 0,102 \frac{\Delta p_{-1}}{1 + r_{-1}} \dots \dots \dots (92)$$

com  $\Delta H$  em mm e  $\Delta p_{-1}$  em N/m<sup>2</sup> (Pa).

Analisando-se a expressão (92) podemos verificar que a perda de altura hídrica é inversamente proporcional a  $r_{-1}$ , para um mesmo valor de  $\Delta p_{-1}$ . Isto é, quanto maior for o valor de  $r_{-1}$ , menor será a magnitude da perda de altura hídrica. Podemos concluir, então, que um sifão com volume da câmara de saída maior do que o volume da câmara de entrada tem maior resistência à perda de altura hídrica do que um sifão com câmaras de iguais volumes.

Passemos à análise da segunda situação, ou seja,  $\Delta L > H_0$  e pressão negativa  $\Delta p_{-1}$ . Nestas condições a ocorrência de passagem de ar pelo sifão, de montante para jusante, implica no seguinte:

$$\Delta V_e = V_{e1} \text{ (perda máxima)} \dots \dots \dots (93)$$

logo, no máximo

$$\Delta L = H_0 \dots \dots \dots (94)$$

Substituindo-se (94) em (82), vem:

$$\Delta p_{-1} = \gamma H_0 \dots \dots \dots (95)$$

Substituindo-se, ainda, (95) em (91), temos:

$$\Delta H = \frac{\gamma H_0}{\gamma(1 + r_{ac})} \dots \dots \dots (96)$$

ou

$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + r_{ac}} \dots \dots \dots (97)$$

Podemos, assim, representar as expressões (92) e (97) graficamente (ver gráfico 8).

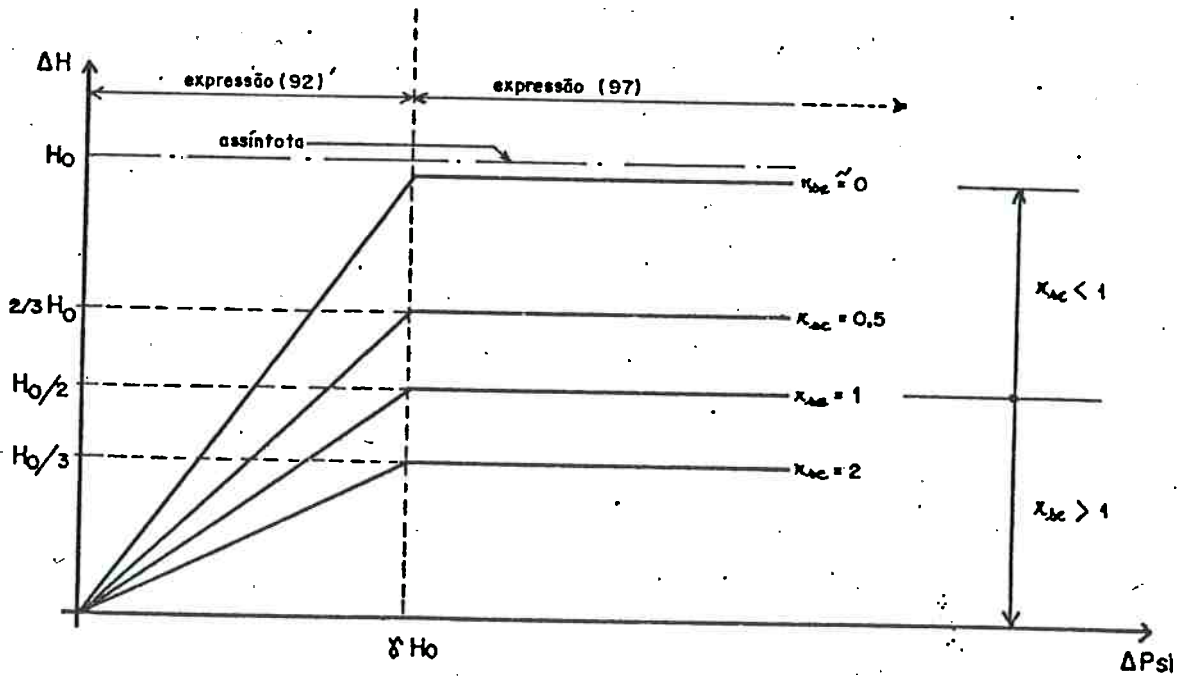


Gráfico 8 - Perda de altura hidrica  $\Delta H$  em função da depressão  $\Delta P_{=1}$ , para sifões com câmaras desiguais - análise estática.



Verificamos, através da representação gráfica das expressões (92) e (97) que, teoricamente, como demonstrado, sifões com câmaras de saída maiores que as câmaras de entrada perdem menor volume de água do que sifões com a relação de câmaras inversas. Verificamos, também, que a partir da pressão  $\gamma H_0$  (negativa), não há mais perda de água, pois nestas condições, ocorre entrada de ar pela câmara de entrada do sifão. Evidentemente, quando ocorre a passagem de ar através do colo do sifão, formam-se bolhas que continuam a carregar pequena quantidade de água, isto é, na prática ocorrem perdas maiores que as mostradas no gráfico 8 para pressões negativas maiores que  $\gamma H_0$ . Assim, o segundo trecho da curva apresenta-se, na realidade, com pequena inclinação e não horizontal como mostrado no gráfico 8. O gráfico 9 mostra o exposto.

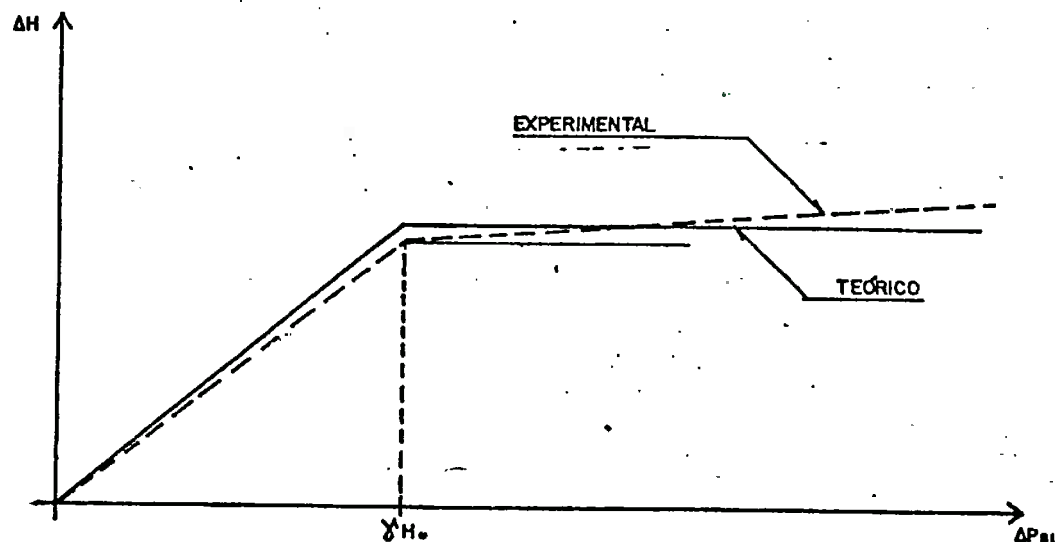


Gráfico 9 - Perda de altura hidrica  $\Delta H$  em função da depressão  $\Delta p_{m1}$  - curva teórica e curva experimental - análise estática.

Podemos representar, também, a altura hídrica residual ( $H_0 - \Delta H$ ) em função da depressão  $\Delta P_{s1}$ , a partir das expressões (92) e (97):

$$H_R = H_0 - \Delta H = H_0 - 0,102 \frac{\Delta P_{s1}}{1 + r_{s1}} \dots \dots \dots (98)$$

para pressões menores que  $\gamma H_0$  e

$$H_R = H_0 - \Delta H = H_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + r_{s1}} \right) \dots \dots \dots (99)$$

para pressões iguais ou maiores que  $\gamma H_0$ , onde:

$H_R$  - altura hídrica residual.

O gráfico 10 apresenta as expressões (98) e (99).

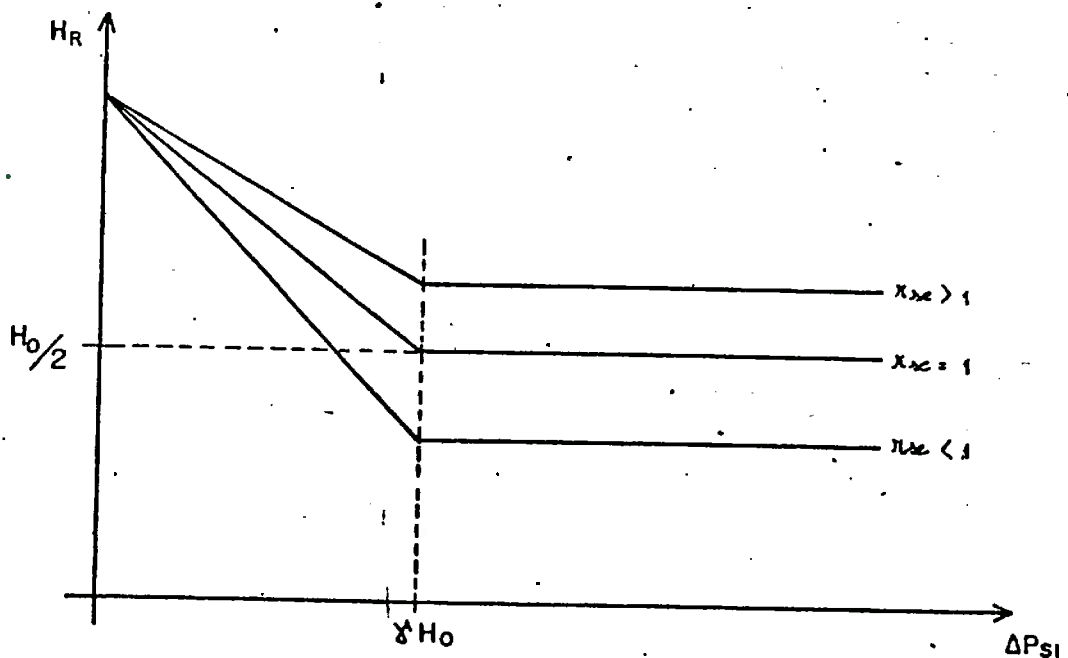


Gráfico 10 - Altura hídrica residual  $H_R$  em função da depressão  $\Delta P_{s1}$ , para sifões com câmaras desiguais - análise estática.

Conforme mencionamos, para depressões  $\Delta P_{s1}$  superiores a  $\Delta P_{s1}$ , ocorrem perdas adicionais de altura hídrica devido à passagem de ar pelo colo do sifão. O gráfico 11, resultado de ensaios realizados no CSTC [71], Bélgica, comprova este fato, o que atesta a validade das expressões apresentadas.

Analisando-se os resultados do trabalho belga, podemos verificar a magnitude da perda de altura hídrica adicional, devida ao aumento de depressão  $\Delta P_{s1}$ . As declividades das curvas, apresentadas no gráfico 11, são aproximadamente iguais, independentemente do tipo de sifão.

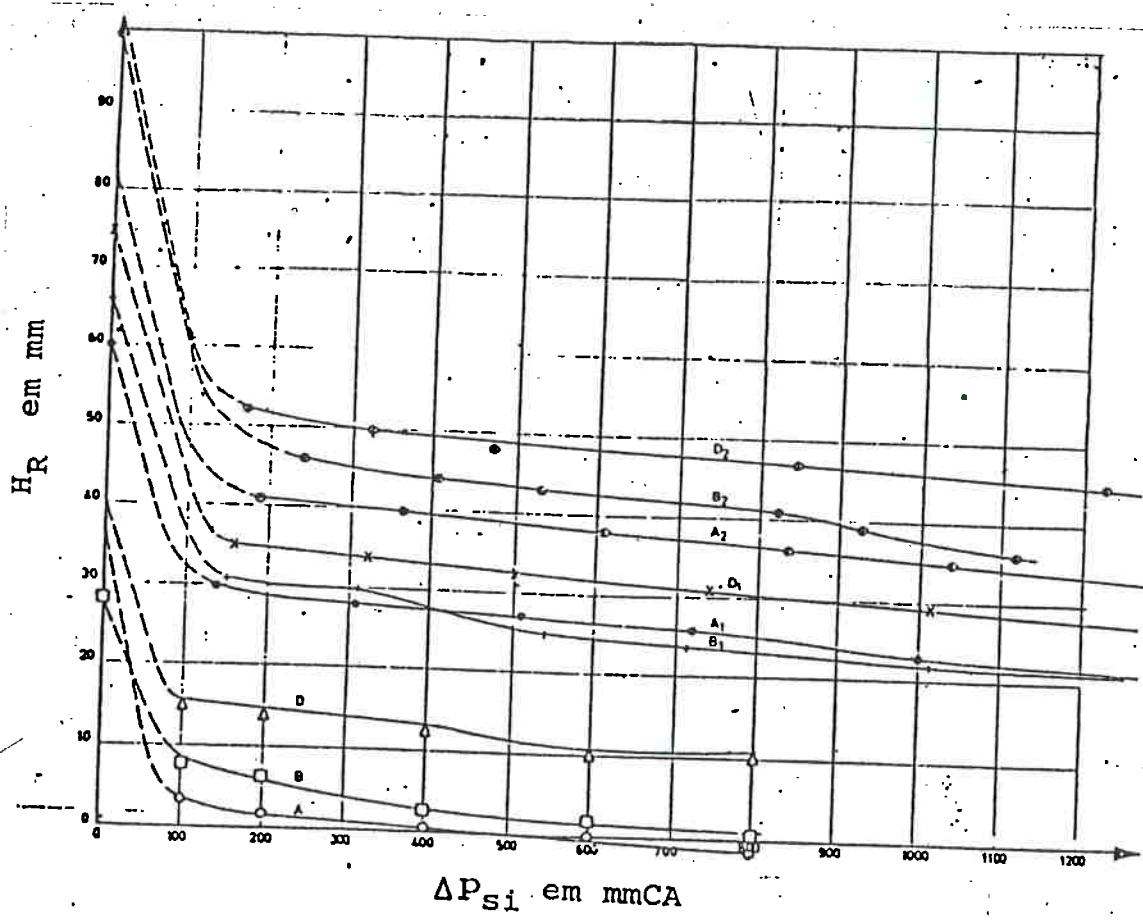


Gráfico 11 - Altura hídrica residual  $H_R$  em função da depressão  $\Delta P_{s1}$ , para sifões belgas, segundo o CSTC - análise estática.

Desta forma, assumindo que estas perdas variam linearmente com a pressão  $\Delta p_{s1}$ , temos:

$$H_R = H_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + r_{s0}} \right) - (\Delta p_{s1} - \gamma H_0) t_{s1} \dots \dots \dots (100)$$

onde:

$t_{s1}$  - taxa de perda hídrica adicional devido à sifonagem induzida.

Resumindo-se o exposto, podemos estimar a altura hídrica residual para sifões com câmaras de entrada e saída uniformes (o que é usual), através do eixo vertical das mesmas, considerando-se diferentes volumes das câmaras e depressões com magnitudes constantes (análise, estática), pelas expressões:

$$H_R = H_0 - 0,102 \frac{\Delta p_{s1}}{1 + r_{s0}}, \text{ para } \Delta p_{s1} < \gamma H_0 \dots \dots \dots (101)$$

e

$$H_R = H_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + r_{s0}} \right) - (\Delta p_{s1} - \gamma H_0) t_{s1},$$

para  $\Delta p_{s1} > \gamma H_0 \dots \dots \dots (102)$

com:

$H_R$  e  $H_0$  em mm;

$\Delta p_{s1}$  em  $N/m^2$  (Pa);

$t_{s1}$  em  $mm/N/m^2$ .

Verificando-se as curvas do gráfico 11, observamos que o valor de  $t_{11}$  é da ordem de  $10^{-3} \text{ mm/N/m}^2$ . Assim, as expressões propostas (101) e (102) permitem a determinação da altura hídrica residual para sobrepressões solicitantes em sifões. Obviamente, podemos calcular, também, a perda de altura hídrica absoluta  $\Delta H$  e relativa  $\Delta H/H_0$  pelas expressões:

$$\Delta H = H_0 - H_R \dots\dots\dots (103)$$

e

$$\frac{\Delta H}{H_0} = 1 - \frac{H_R}{H_0} \dots\dots\dots (104)$$

Concluimos, então, que sob o ponto de vista de sifonagem induzida, considerando-se exclusivamente a aplicação de depressões de magnitude constante, a resistência do fecho hídrico não pode ser expressa unicamente pela altura hídrica inicial  $H_0$ , como admitido pela Norma Brasileira [46] e [47], pois a relação entre os volumes das câmaras de saída e de entrada do sifão influencia significativamente a perda de altura hídrica.

Sifões comumente usados no Brasil apresentam uma grande variação na relação  $r_{11}$ . Uma simples verificação realizada pelo autor mostrou por exemplo:

- caixa sifonada .....  $r_{11} \approx 0,125$ .
- sifões tipo P e S .....  $r_{11} \approx 1$
- sifão tipo "garrafa" .....  $r_{11} \approx 1,8$

Podemos concluir, ainda, que em geral, para mesmas depressões e supondo alturas hídricas iniciais  $H_0$  idênticas, sifões tipo "garrafa" são mais resistentes à perda de água do que os sifões tipos P e S e estes mais do que as caixas sifonadas. Utilizando os valores de  $r_{\text{m}}$  acima, temos:

para  $H_0 = 50\text{mm}$  e  $\Delta p_{\text{m}} = 400\text{N/m}^2$  (Pa),  
sendo  $\Delta p_{\text{m}} < \gamma H_0$ , pois  $400\text{N/m}^2 < 490\text{N/m}^2$ ,

assim, através da expressão (101), vem:

- caixa sifonada .....  $H_R \approx 13,8\text{mm}$  (28%  $H_0$ )
- sifão tipo P ou S .....  $H_R \approx 29,6\text{mm}$  (60%  $H_0$ )
- sifão tipo " garrafa" .....  $H_R \approx 35,4\text{mm}$  (71%  $H_0$ ).

Observando os resultados acima, verificamos que a simples adoção de uma mesma altura hídrica inicial para todos os tipos de sifões, conforme considerado na Norma Brasileira, conduz a comportamentos distintos com relação à perda de altura hídrica. Não é, portanto, a altura hídrica inicial  $H_0$  um critério adequado, tendo em vista o significativo efeito da relação entre os volumes das câmaras de saída e de entrada do sifão e, principalmente ao se considerar a solução tipicamente brasileira de uso de caixas sifonadas, como mostrado no capítulo 5.

Estudemos, a seguir, a aplicação de uma sobrepressão  $\Delta p_{\text{ob}}$ , com magnitude constante, efetuando-se a análise da situação estática. Da expressão (65), podemos escrever:

$$\Delta p_{sb} = \gamma \Delta L \dots \dots \dots (105)$$

onde:

$\Delta p_{sb}$  - diferencial de pressão devido à sobrepressão.

Admitamos a ocorrência de uma sobrepressão de magnitude  $\Delta p_{sb}$ . A figura 34 apresenta esquematicamente o fenômeno em sifão com câmaras de volumes diferentes.

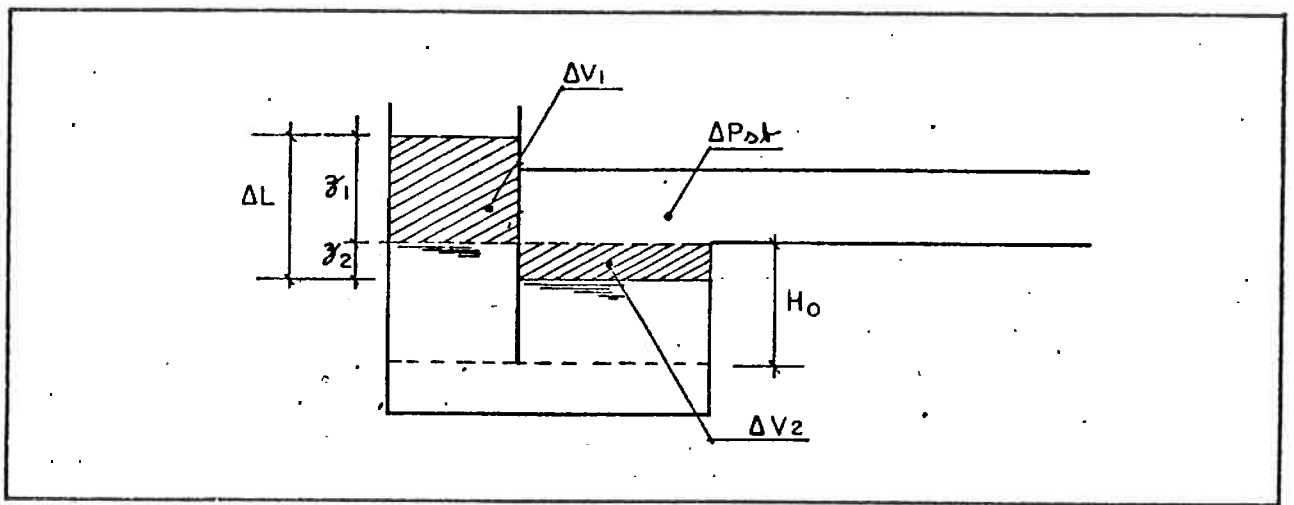


Figura 34 - Sifão com câmaras de volumes diferentes, sujeito à sobrepressão.

Podemos, então, relacionar os elementos apresentados na figura 34.

$$\Delta L = z_1 + z_2 \dots \dots \dots (106)$$

e

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \dots \dots \dots (107)$$

onde:

$z_1$  - posição da superfície da água na câmara de entrada, com relação à posição de equilíbrio;

$z_2$  - posição da superfície da água na câmara de saída, com relação à posição de equilíbrio.

$$\Delta V_1 = z_1 A_1 \dots\dots\dots (108)$$

$$\Delta V_2 = z_2 A_2 \dots\dots\dots (109)$$

sendo:

$A_1$  - área da secção transversal da câmara de entrada;

$A_2$  - área da secção transversal da câmara de saída.

Substituindo-se (108) e (109) em (107), vem:

$$z_1 A_1 = z_2 A_2 \dots\dots\dots (110)$$

Multiplicando-se os dois membros da expressão (110) por  $H_0$ , temos:

$$z_1 V_{c1} = z_2 V_{c2} \dots\dots\dots (111)$$

logo:

$$z_1 = \gamma_{ow} z_2 \dots\dots\dots (112)$$



Consideremos, a seguir, o estabelecimento da perda de altura hídrica e conseqüente altura hídrica residual devido à ocorrência de sobrepressão, a partir dos conceitos estabelecidos no item 6.3.2. Assim, o volume de água perdido devido à oscilação dos níveis das câmaras do sifão, quando da retirada da sobrepressão  $\Delta P_{\text{sb}}$  de magnitude constante, desprezando-se a influência do atrito, pode ser determinado como conseqüência das considerações que se seguem.

Dois casos devem ser analisados para a determinação da altura hídrica residual e posterior verificação dos limites de pressão positiva (sobrepressão) para que não haja ocorrência de passagem de ar de jusante para montante do sifão. Temos, assim:

- 1o. caso - quando  $V_{c1} > V_{c2}$ , ou seja  $r_{\text{sb}} < 1$
- 2o. caso - quando  $V_{c1} \ll V_{c2}$ , ou seja  $r_{\text{sb}} \gg 1$

Passemos à análise de cada um dos casos.

1o. caso -  $r_{\text{sb}} < 1$

Temos que, quando  $r_{\text{sb}} < 1$ , o volume da câmara de entrada é maior do que o volume da câmara de saída. Sob o ponto de vista da análise estática, quando aplicamos uma sobrepressão  $\Delta P_{\text{sb}}$  de magnitude tal que  $z_2$  seja igual a  $H_0$ , ficará o sifão sujeito à ocorrência de passagem de ar de jusante para montante do mesmo, para qualquer acréscimo desta sobrepressão. Nestas condições, cessado o efeito da sobrepressão  $\Delta P_{\text{sb}}$ , ocorrerá perda de

altura hídrica devido ao movimento oscilatório, conforme descrevemos em 6.3.2. A perda máxima possível de altura hídrica, será aquela correspondente à perda do volume da câmara de saída.

Se aplicássemos novamente a sobrepressão  $\Delta p_{ab}$ , não teríamos perda de altura hídrica adicional. Entretanto, estando o fecho hídrico em repouso, devemos avaliar a possibilidade de passagem de ar pelo colo do sifão.

Procuraremos, a seguir, formular analiticamente o exposto.

Temos, assim:

$$\Delta V = \Delta V_z \dots\dots\dots(113)$$

onde:

$\Delta V$  - volume de água perdido, devido à ocorrência de sobrepressão.

A perda de altura hídrica resultante após a perda de  $\Delta V$ , pode ser expressa por:

$$\Delta H = \frac{\Delta V}{A_1 + A_2} = \frac{\Delta V_z}{A_1 + A_2} \dots\dots\dots(114)$$

Substituindo-se (109) em (114), vem:

$$\Delta H = \frac{A_2}{A_1 + A_2} z_2 \dots\dots\dots(115)$$

Multiplicando-se e dividindo-se o segundo membro da expressão (115) por  $H_0$ , temos:

$$\Delta H = \frac{V_{c2}}{V_{c1} + V_{c2}} z_2 \dots\dots\dots(116)$$

Multiplicando-se e dividindo-se o segundo membro da expressão (116) por  $V_{c1}$ , temos:

$$\Delta H = \frac{r_{cc}}{1 + r_{cc}} z_2 \dots\dots\dots(117)$$

Substituindo-se  $z_1$  de (112) em (106), e  $\Delta L$  de (106) em (105), temos:

$$\Delta P_{=b} = \gamma(1 + r_{cc}) z_2 \dots\dots\dots(118)$$

logo

$$z_2 = \frac{1}{1 + r_{cc}} \frac{\Delta P_{=b}}{\gamma} \dots\dots\dots(119)$$

Das expressões (117) e (119), vem:

$$\Delta H = \frac{r_{\text{res}}}{(1 + r_{\text{res}})^2} \frac{\Delta P_{\text{res}}}{\gamma} \dots \dots \dots (120)$$

A altura hídrica residual  $H_R$ , para o caso em que  $r_{\text{res}} < 1$ , é assim expressa:

$$H_R = H_0 - \Delta H = H_0 - \frac{r_{\text{res}}}{(1 + r_{\text{res}})^2} \frac{\Delta P_{\text{res}}}{\gamma} \dots \dots \dots (121)$$

Como mencionamos anteriormente, a sobrepressão que provoca a máxima perda de altura hídrica, no caso em questão, ocorre quando  $z_2 = H_0$ .

Nestas condições, da expressão (118), temos que:

$$\Delta P_{\text{res}} = \gamma H_0 (1 + r_{\text{res}}) \dots \dots \dots (122)$$

Assim, a altura residual mínima pode ser obtida substituindo-se a expressão (122) em (121), como se segue:

$$H_R = H_0 \left( 1 - \frac{r_{\text{res}}}{1 + r_{\text{res}}} \right) \dots \dots \dots (123)$$

Admitamos que ocorra uma sobrepressão  $\Delta P_{\text{res}}$ . Desejamos estabelecer a magnitude desta sobrepressão de maneira que não haja passagem de ar de jusante para montante do sifão, considerando-se que a altura hídrica residual do mesmo seja  $H_R$ .

Temos que:

$$z_2 \leq H_R \dots \dots \dots (124)$$

Substituindo-se (124) em (118), vem:

$$\Delta P_{-b} \leq \gamma H_R (1 + r_{-b}) \dots \dots \dots (125)$$

Cabe salientar que a expressão (125) deve ser utilizada para a verificação de passagem de ar de jusante para montante do sifão, tanto para sifões sujeitos à sobrepressão, como também, para sifões sujeitos à sifonagem induzida, considerando-se o menor valor de  $H_R$  passível de ocorrência.

Podemos, então, substituir a expressão (123) em (125), para obtenção das sobrepressões admissíveis:

$$\Delta P_{-b} \leq \gamma H_0 \left(1 - \frac{r_{-b}}{1 + r_{-b}}\right) (1 + r_{-b}) \dots \dots \dots (126)$$

logo:

$$\Delta P_{-b} \leq \gamma H_0 \quad \text{para } r_{-b} < 1 \dots \dots \dots (127)$$

2o. caso -  $r_{-b} \geq 1$

Temos que, quando  $r_{-b} \geq 1$ , o volume da câmara de saída é maior ou igual ao volume da câmara de entrada. Sob o ponto de vista da análise estática, quando aplicamos uma sobrepressão  $\Delta P_{-b}$ , de

magnitude tal que  $z_1$  seja igual a  $H_0$ , ocorrerá a perda máxima de altura hídrica, pois devido ao movimento oscilatório, o nível inferior da câmara de entrada será no máximo  $z_1 = -H_0$ . Nestas condições, o volume perdido será no máximo igual ao volume da câmara de entrada. Qualquer sobrepressão de magnitude superior a esta, não provocará perda hídrica adicional. Entretanto, estando o fecho hídrico em repouso, devemos avaliar a possibilidade de passagem de ar pelo colo do sifão.

Procuraremos, a seguir, formular analiticamente o exposto. Temos, assim:

$$\Delta V = \Delta V_1 \dots\dots\dots (128)$$

A perda de altura hídrica resultante, após a perda de  $\Delta V$  pode ser expressa por:

$$\Delta H = \frac{\Delta V}{A_1 + A_2} = \frac{\Delta V_1}{A_1 + A_2} \dots\dots\dots (129)$$

De forma análoga à do 1o. caso, podemos escrever que:

$$\Delta H = \frac{1}{1 + r_{\text{res}}} z_1 \dots\dots\dots (130)$$

Substituindo-se  $z_2$  de (112) em (106), e  $\Delta L$  de (106) em (105), temos:

$$\Delta P_{\text{res}} = \gamma \frac{1 + r_{\text{res}}}{r_{\text{res}}} z_1 \dots\dots\dots (131)$$

logo:

$$z_1 = \frac{r_{ss}}{1 + r_{ss}} \frac{\Delta P_{sb}}{\gamma} \dots \dots \dots (132)$$

Das expressões (130) e (132), vem:

$$\Delta H = \frac{r_{ss}}{(1 + r_{ss})^2} \frac{\Delta P_{sb}}{\gamma} \dots \dots \dots (133)$$

A altura hidrica residual  $H_R$ , para o caso em que  $r_{ss} > 1$ , é assim expressa:

$$H_R = H_0 - \frac{r_{ss}}{(1 + r_{ss})^2} \frac{\Delta P_{sb}}{\gamma} \dots \dots \dots (134)$$

Como mencionamos anteriormente, a sobrepressão que provoca a máxima perda de altura hidrica, no caso em questão, ocorre quando  $z_1 = H_0$ . Nestas condições, da expressão (131), temos que:

$$\Delta P_{sb} = \gamma H_0 \left( \frac{1 + r_{ss}}{r_{ss}} \right) \dots \dots \dots (135)$$

Assim, a altura residual mínima pode ser obtida substituindo-se a expressão (135) em (134), como se segue:

$$H_R = H_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + r_{ss}} \right) \dots \dots \dots (136)$$

Admitamos, agora, que ocorra uma sobrepressão  $\Delta p_{sb}$ . Desejamos estabelecer a magnitude desta sobrepressão de maneira que não haja passagem de ar de jusante para montante do sifão, considerando-se que a altura hidrica residual do mesmo seja  $H_R$ .

Temos que:

$$z_2 \ll H_R \dots\dots\dots (137)$$

Sendo  $z_1 = r_{\text{m}} z_2$ , vem:

$$z_1 \ll r_{\text{m}} H_R \dots\dots\dots (138)$$

Substituindo-se (138) em (131), temos:

$$\Delta P_{\text{m}} \ll \gamma H_R (1 + r_{\text{m}}) \dots\dots\dots (139)$$

Substituindo-se (136) em (139), obteremos a expressão para a determinação das sobrepressões máximas admissíveis:

$$\Delta P_{\text{m}} \ll \gamma H_0 \left(1 - \frac{1}{1 + r_{\text{m}}}\right) (1 + r_{\text{m}}) \dots\dots\dots (140)$$

logo

$$\Delta P_{\text{m}} \ll r_{\text{m}} \gamma H_0 \dots\dots\dots (141)$$

Resumindo-se ambos os casos, temos:

- altura hidrica residual minima:

$$H_R = H_0 \left(1 - \frac{r_{\text{m}}}{1 + r_{\text{m}}}\right) \quad \text{para } r_{\text{m}} < 1 \dots\dots\dots (142)$$

e



$$H_R = H_0 \left( 1 - \frac{1}{1 + r_{\infty}} \right) \quad \text{para } r_{\infty} \geq 1 \dots \dots \dots (143)$$

O gráfico 12 apresenta as expressões (142) e (143) correlacionando os valores de  $H_R$  com  $r_{\infty}$ .

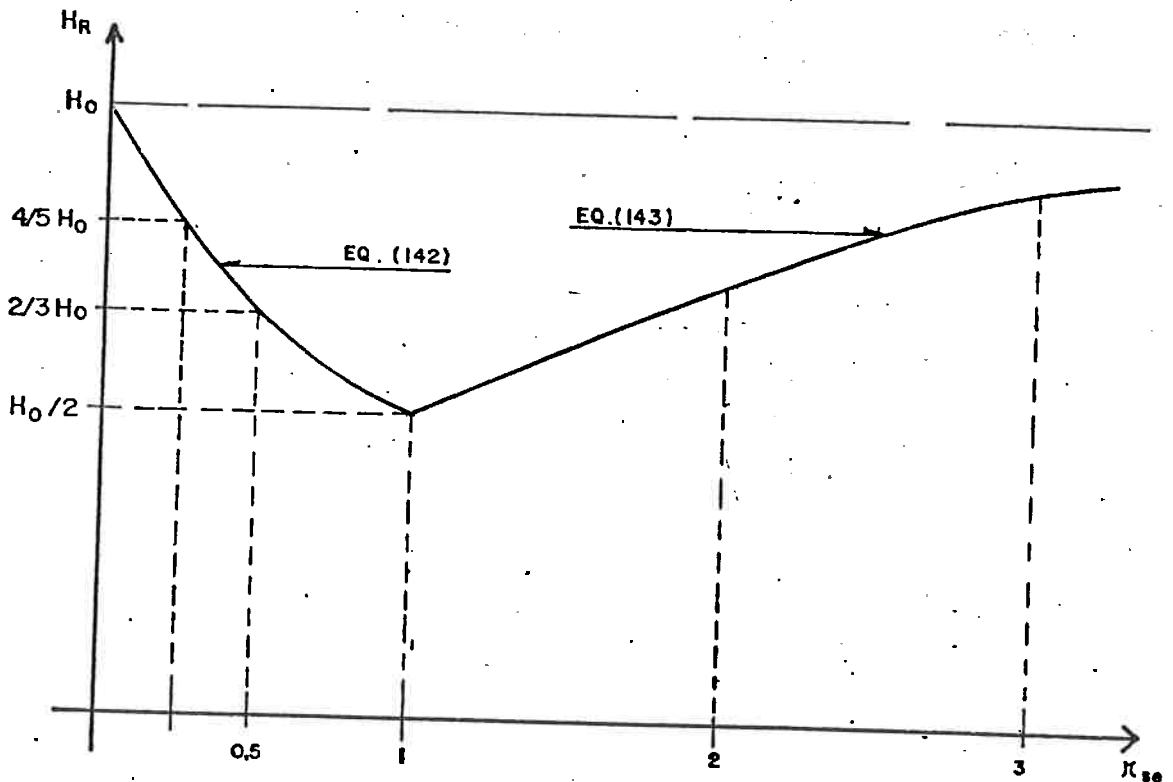


Gráfico 12 - Sobrepessão - valores de altura residual ( $H_R$ ) mínima em função da relação entre os volumes das câmaras do sifão.

Como podemos observar, através do gráfico 12, os sifões em que podem ocorrer maiores perdas de altura hídrica por sobrepressão são aqueles que têm câmaras com volumes iguais, isto é, o volume da câmara de entrada é igual ao volume da câmara de saída. Sifões tipo P e S convencionais têm volumes das câmaras praticamente iguais.

• sobrepressões máximas admissíveis para o bloqueio efetivo da passagem de ar através do colo inferior do sifão:

$$\Delta p_{sb} = \gamma H_0 \quad \text{para } r_{se} < 1 \dots\dots\dots (144)$$

ou

$$\Delta p_{sb} = r_{se} \gamma H_0 \quad \text{para } r_{se} \geq 1 \dots\dots\dots (145)$$

O gráfico 13 apresenta as expressões (144) e (145), correlacionando valores de  $\Delta p_{sb}$  com  $r_{se}$ .

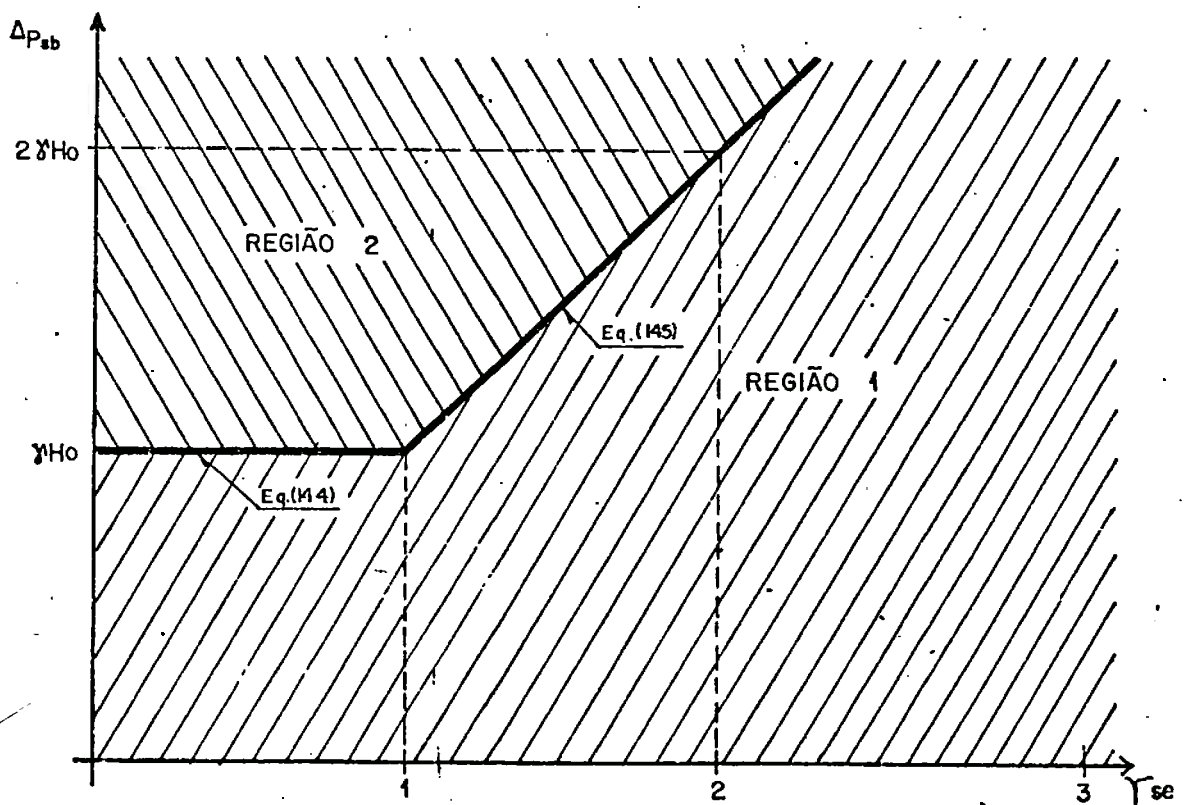


Gráfico 13 - Restrições de magnitude de sobrepressões em função da relação entre os volumes das câmaras do sifão.

Analisando-se o gráfico 13, podemos concluir a existência de duas regiões distintas. A primeira delas, Região 1, onde a ocorrência de sobrepressão com magnitude  $\Delta p_{ab}$ , dentro da mesma, não provoca a passagem de ar de jusante para montante do sifão, promovendo assim, o bloqueio efetivo da passagem de gases e espuma. Na outra região, Região 2, ocorrerá a passagem de ar para dentro dos ambientes sanitários.

Nesta parte do trabalho, procuramos conceituar e desenvolver modelos representativos das ações das depressões e sobrepressões que atuam sobre os fechos hidráulicos, sob o ponto de vista da aplicação de pressões de magnitude constante, isto é efetuando-se análise estática dos fenômenos. Os modelos desenvolvidos, expressões (100), (101), (102), (142), (143), (144) e (145), permitem o cálculo das alturas hidráulicas residuais dos sifões, bem como as limitações de diferenciais de pressões positivas. Cabe notar que, nos modelos considerados, incluiu-se os efeitos da repetitividade das ações das depressões ou sobrepressões.

Não podemos deixar de registrar, no entanto, a possibilidade da ocorrência de ações sobre os fechos hidráulicos, de natureza dinâmica, devidas à superposição das oscilações da pressão e da coluna hidráulica do sifão.

Consideremos um sifão com altura hidráulica residual  $H_R$ , estando este em repouso. Aplicando-se ao fecho hidráulico em questão, um diferencial de pressão, com magnitude variando ao longo do tempo,

teremos conseqüentemente uma movimentação pendular da coluna líquida existente no interior do sifão.

Admitamos, ainda, que a variação do diferencial de pressão ao longo do tempo obedeça à uma função do seguinte tipo:

$$\Delta p = \Delta p_m \cos \omega t \dots \dots \dots (146)$$

onde:

$\Delta p_m$  - amplitude máxima do diferencial de pressão;

$\omega$  - frequência angular do diferencial de pressão;

$t$  - intervalo de tempo decorrido desde o início da ocorrência do diferencial de pressão até o instante considerado.

Como visto em 6.3.2., figura 32, o movimento pendular da coluna hídrica do sifão também obedece à uma lei de periodicidade, como mostra a expressão (73). A partir desta expressão temos:

$$z = Z \cos \omega_0 t \dots \dots \dots (153)$$

onde:

$\omega_0$  - frequência angular natural da coluna hídrica do sifão.

No caso em que a frequência angular do diferencial de pressão seja aproximadamente igual à frequência angular natural da coluna hídrica do sifão, ficará a oscilação da coluna hídrica sujeita ao

fenômeno de ressonância, podendo ocorrer perdas sensíveis de altura hídrica, até mesmo perda total, em função da magnitude do diferencial de pressão  $\Delta p_m$ .

Dadas as características do fecho hídrico e da aleatoriedade das solicitações dos diferenciais de pressão, e as características transitórias do escoamento no interior do sistema, podemos considerar que a ocorrência de ressonância, como exposto, é de baixa probabilidade e de equacionamento extremamente complexo.

Como consequência, o controle deste fenômeno, a nível de concepção e projeto do sistema de esgotos sanitários, implicaria na adoção de medidas anti-econômicas e talvez injustificáveis, tendo em vista a prevenção da eventual ocorrência de perda de altura hídrica por ressonância.

Verificamos, neste capítulo, o comportamento dos fechos hídricos quando submetidos à ações independentes e dependentes da ocorrência de escoamento de água nos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

E necessário, então, estudar os sistemas sob o ponto de vista da capacidade de condução das águas servidas até o destino adequado.

## 7. ESTUDO DO ESCOAMENTO NAS TUBULAÇÕES DOS SISTEMAS PREDIAIS DE COLETA DE ESGOTOS SANITARIOS

O escoamento nas tubulações, que constituem uma instalação predial de coleta de esgotos sanitários, é um dos importantes fatores a ser considerado quando estudamos o comportamento dos sistemas em tela.

Como vimos no item 4.5, os sistemas devem permitir o escoamento dos esgotos sanitários, por gravidade, sem a criação de pressões hidrostáticas excessivas ou flutuações de pressão pneumática a níveis indesejáveis.

É necessário, portanto, o entendimento do comportamento das descargas dos aparelhos sanitários. Evidentemente, as vazões que se estabelecem nos diversos trechos do sistema predial de esgotos sanitários, dependem das magnitudes das vazões dos diversos tipos de aparelhos e das condições determinantes da utilização de grupos de aparelhos sanitários.

As capacidades de escoamento dos elementos do sistema devem ser estabelecidas a partir das vazões de cada aparelho individualmente e da quantidade de aparelhos que se encontram simultaneamente em uso.

Conhecendo-se as vazões de água, e as dimensões das tubulações podemos estudar o escoamento de ar e as variações de pressão pneumáticas no interior dos sistemas.

## 7.1 - Vazões dos aparelhos sanitários

É de fundamental importância o estudo das condições de descarga dos aparelhos sanitários para a adequada concepção de uma instalação predial de esgotos sanitários.

Consideremos um aparelho sanitário, por exemplo, um lavatório, submetido à utilização pelo usuário. Duas possibilidades devem ser consideradas ao analisarmos o escoamento de água que ocorre neste aparelho:

- utilização com o orifício de descarga aberto; neste caso o uso da água se faz com o sistema predial de água fria em operação, no ponto de consumo considerado, havendo descarga simultânea para o sistema predial de esgotos sanitários;
- utilização com o orifício de descarga fechado; neste caso o uso da água se faz após o armazenamento da quantidade desejada, não permanecendo em operação o sistema predial de suprimento de água, no ponto considerado.

No primeiro caso, quando o orifício de descarga encontra-se aberto, a vazão de esgotos sanitários do aparelho é igual à vazão do ponto de utilização de água fria, estabelecendo-se assim, regime permanente durante esta utilização. Podemos então escrever:

$$Q_e = Q_a \dots\dots\dots (148)$$

onde:

$Q_s$  - vazão de contribuição do aparelho ao sistema de esgotos sanitários;

$Q_a$  - vazão do ponto de utilização de água fria.

A vazão  $Q_a$  é função das características geométricas da instalação de água fria, da atividade realizada pelo usuário e da exigência pessoal do mesmo, relativa à quantidade de água necessária ao desempenho satisfatório de tal atividade.

Com relação à vazão  $Q_s$ , temos:

$$Q_s = f (h_c + h_d) \dots\dots\dots (149)$$

onde:

$h_c$  - diferença entre o nível de água no aparelho sanitário e o nível do orifício de saída do mesmo (ver figura 35);

$h_d$  - diferença entre o nível do orifício do aparelho sanitário e o eixo da secção de saída do sifão (ver figura 35);

$f$  - exprime dependência funcional.

Analisemos o comportamento do sistema, para uma dada configuração do mesmo, em função da vazão  $Q_a$ . Três situações podem ser verificadas em função de valores de vazões características do sistema  $Q_{s1}$  e  $Q_{s2}$ . Sendo:

$Q_{s1}$  - vazão característica de acúmulo de água na cuba do aparelho sanitário;



$Q_{e2}$  - vazão característica de extravasamento de água na cuba do aparelho sanitário.

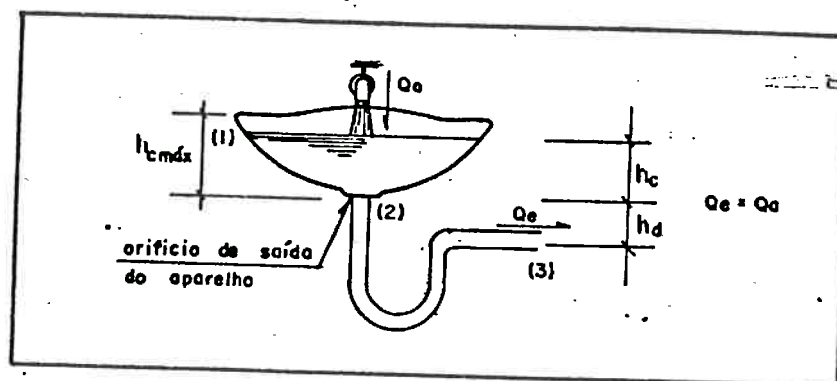


Figura 35 - Utilização de aparelho sanitário - regime permanente.

Temos assim:

- para  $0 < Q_m < Q_{e1}$ , não ocorre acúmulo de água na cuba do aparelho sanitário;
- para  $Q_{e1} < Q_m < Q_{e2}$ , ocorre acúmulo de água na cuba do aparelho sanitário;
- para  $Q_m > Q_{e2}$ , ocorre o máximo acúmulo de água possível e há extravasamento da vazão excedente.

Podemos, então, determinar analiticamente as vazões características  $Q_{e1}$  e  $Q_{e2}$ , a partir da aplicação do Teorema de Bernoulli. Para as secções (2) e (3), indicadas na figura 35, temos:

$$\frac{p_2}{\gamma} + h_d + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_3}{\gamma} + 0 + \frac{v_3^2}{2g} + \xi \frac{v_3^2}{2g} \dots (150)$$

Sabemos que:

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} = 0 \text{ (quando } 0 \ll Q_2 \ll Q_{-1}) \dots (151)$$

e

$$v_2 = v_3 = v \dots (152)$$

Assim:

$$h_d = \xi \frac{v^2}{2g} \dots (153)$$

Logo:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\xi} 2g h_d} \dots (154)$$

Aplicando-se a equação da continuidade, temos:

$$Q_{-1} = v \frac{\pi}{4} d_{-1}^2 \dots (155)$$

Substituindo-se (155) em (154) e fazendo-se algumas transformações, vem:

$$Q_{-1} = k_{d1} \sqrt{h_d} \dots (156)$$

sendo:

$$k_{d1} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g}{\xi}} d_s^2 \dots \dots \dots (157)$$

onde:

$k_{d1}$  - coeficiente de descarga modificado, característico do conjunto orifício de saída do aparelho sanitário e sifão, para a determinação da vazão  $Q_{s1}$ ;

$\xi$  - coeficiente de perda de carga do conjunto orifício de saída do aparelho e sifão;

$d_s$  - diâmetro da secção de saída do sifão.

Admitiremos, neste trabalho, que os coeficientes de descarga e de perda de carga sejam constantes, pois, na prática o escoamento se dá com número de Reynolds de magnitude elevada.

Assim, a partir das expressões (157) e (156), podemos determinar o valor da vazão  $Q_{s1}$ .

Apliquemos, a seguir, o Teorema de Bernoulli às secções (1) e (3), indicadas na figura 35, com o objetivo de calcularmos a vazão  $Q_{s2}$ . Temos então:

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_d + h_{cm\max} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_3}{\gamma} + 0 + \frac{v_3^2}{2g} + \xi \frac{v_3^2}{2g} \dots \dots \dots (158)$$

Sabemos que:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} = 0 \dots \dots \dots (159)$$

considerando:

$$v_1 \approx 0, \quad v_3 = v \dots \dots \dots (160)$$

Temos:

$$h_d + h_{cmax} = (1 + \xi) \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (161)$$

Logo:

$$v = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi} 2g (h_d + h_{cmax})} \dots \dots \dots (162)$$

Aplicando-se a equação da continuidade, temos:

$$Q_{d2} = v \frac{\pi}{4} d_w^2 \dots \dots \dots (163)$$

Substituindo-se (163) em (162) e fazendo-se algumas transformações, vem:

$$Q_{d2} = k_{d2} \sqrt{h_d + h_{cmax}} \dots \dots \dots (164)$$

sendo:

$$k_{d2} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g}{1 + \xi}} d_w^2 \dots \dots \dots (165)$$

onde:

$k_{d2}$  - coeficiente de descarga modificado, característico do conjunto orifício de saída do aparelho sanitário e sifão, para a determinação da vazão  $Q_{d2}$ .

Assim, a partir das expressões (165) e (164), determinamos o valor da vazão  $Q_{e2}$ .

Podemos, ainda, correlacionar os valores de  $k_{d1}$  e  $k_{d2}$ . Das expressões (157) e (165), vem:

$$\frac{k_{d1}}{k_{d2}} = \sqrt{\frac{1 + \xi}{\xi}} \dots \dots \dots (166)$$

O gráfico 14 ilustra as situações que podem ser verificadas, quando a utilização do aparelho sanitário se faz com o sistema predial de água fria em operação.

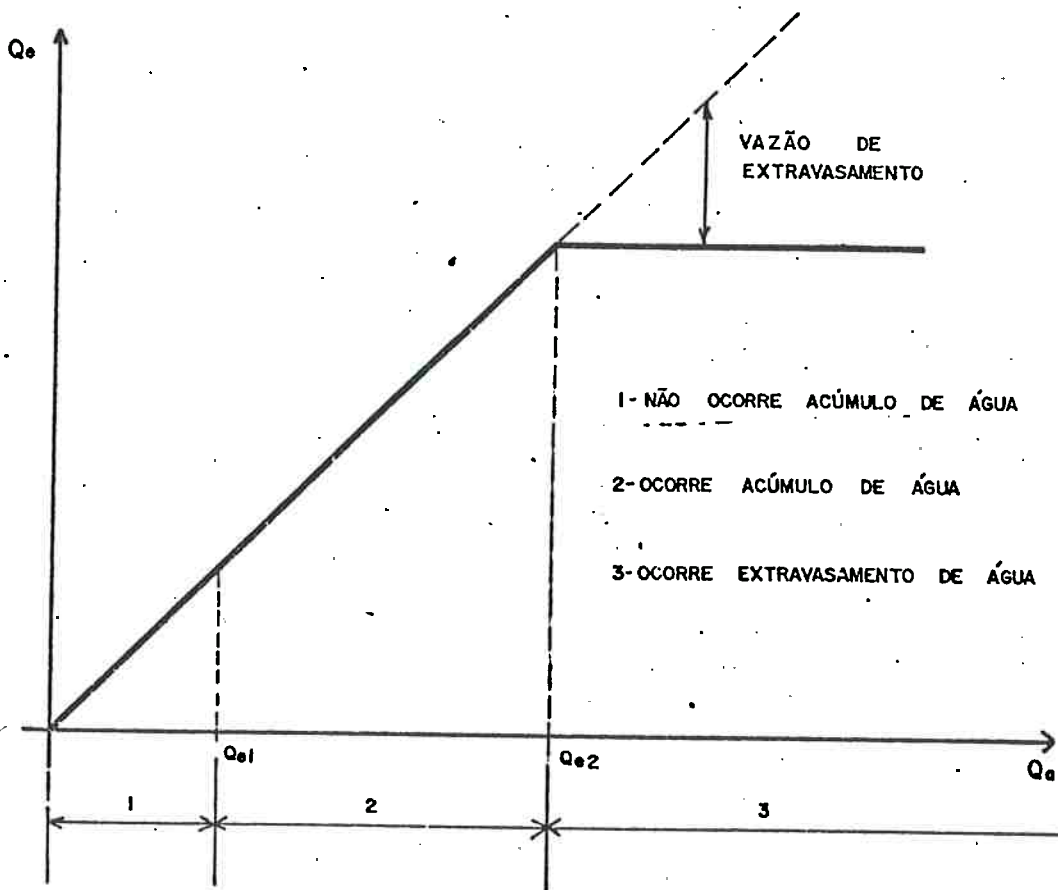


Gráfico 14 - Comportamento das vazões de contribuição ao sistema de esgotos ( $Q_e$ ), em função das vazões de alimentação de água fria ( $Q_a$ ).

Das considerações feitas, para o regime de utilização de aparelhos sanitários em questão, algumas conclusões podem ser tiradas. Entre elas:

- a vazão do sistema predial de água fria, no ponto de consumo considerado, deve ser limitada aos valores característicos  $Q_{-1}$  ou  $Q_{-2}$ , em função do tipo de uso do aparelho sanitário;
- a vazão contribuinte ao sistema de esgotos sanitários,  $Q_{-}$ , depende das características geométricas do conjunto aparelho sanitário e sifão;
- a vazão máxima contribuinte ao sistema de esgotos sanitários é igual à vazão característica  $Q_{-2}$ , ou à máxima vazão de água fria, no ponto de consumo considerado, quando este é inferior a  $Q_{-2}$ .

Gostaríamos de salientar que as hipóteses de cálculo, através das expressões apresentadas, são válidas quando estabelecido o fluxo em regime permanente. Tendo em vista que as expressões foram desenvolvidas, visando a obtenção de valores limites  $Q_{-1}$  e  $Q_{-2}$ , não abordamos os regimes de escoamento no interior do aparelho sanitário, o que faremos posteriormente, neste trabalho. Este tipo de regime de utilização, com água corrente, é o mais comum para a maioria dos aparelhos sanitários. Entre eles podemos incluir: lavatórios, piaç de cozinha, tanques, chuveiros e bidês com ducha de fundo. Constituem exceções do caso em questão os seguintes aparelhos sanitários: banheiras, bidês sem ducha de fundo e máquinas de lavar roupas e louças, que por suas

peculiares características de utilização, não justificam o uso de água corrente.

Particular atenção deve ser dada ao estudo das vazões das bacias sanitárias, pois os tipos de dispositivo de acionamento da descarga destes aparelhos são determinantes nas vazões contribuintes ao sistema de esgotos sanitários. Desta forma, temos:

- descarga produzida por válvula fluxível; neste caso, devido à curta duração da descarga e à ação sifônica, não se estabelece o regime permanente, conseqüentemente não podemos aplicar as expressões desenvolvidas. Asano e Kiya [74] realizaram estudos avaliando as características das descargas das bacias sanitárias com válvulas fluxíveis.
- descarga produzida por caixa de descarga; neste caso a vazão contribuinte ao sistema de esgotos sanitários não se relaciona com a vazão de água fria no ponto de alimentação, pois há o armazenamento da água utilizada na descarga do aparelho sanitário. -- A vazão  $Q_c$  é maior do que a vazão  $Q_a$  e, normalmente, não ocorrem simultaneamente.

Estudemos, a seguir, o segundo caso, quando a utilização do aparelho sanitário se faz com o orifício de descarga fechado, não permanecendo em operação, geralmente, o sistema predial de água fria, no ponto considerado.

Neste caso, o usuário utiliza basicamente a água armazenada na cuba do aparelho sanitário, a uma determinada altura  $h_c$  do nível de água.

Após a utilização, o usuário retira o tampão que bloqueia o orifício de saída do aparelho sanitário, dando-se início ao escoamento de água para o sistema de esgotos sanitários.

Dependendo do valor  $h_e$  inicial podem ocorrer três tipos de escoamento, a saber:

- escoamento anular;
- escoamento por orifício;
- escoamento a conduto forçado.

A figura 36 ilustra os tipos de escoamento mencionados.

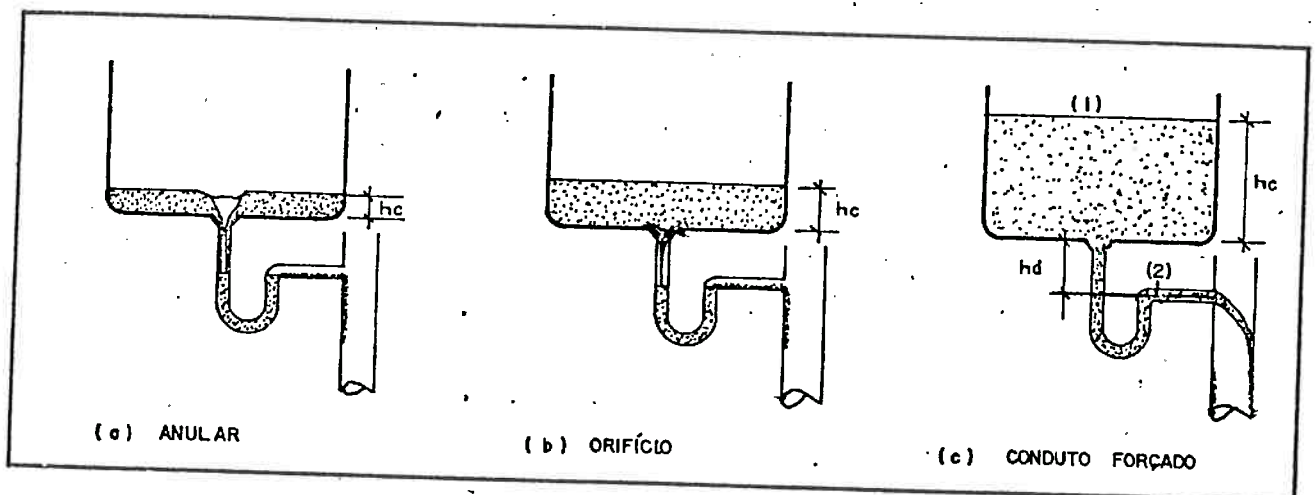


Figura 36 - Tipos de escoamento em aparelhos sanitários.

O escoamento anular, figura 36 (a), ocorre para pequenos valores de  $h_e$  e conseqüentemente para pequenas vazões  $Q_e$ . As expressões



para este tipo de escoamento, foram apresentadas por Schalg [75], para colunas de águas pluviais. A equação teórica que representa este escoamento pode ser expressa por:

$$Q_w = m \pi d_o h_c \sqrt{2g h_c} \dots\dots\dots (167)$$

onde:

$m$  - coeficiente de descarga (variável com  $h_c$ );

$d_o$  - diâmetro do orifício de descarga do aparelho sanitário.

Transformando-se a expressão (167), temos:

$$Q_w = m \pi d_o \sqrt{2g h_c^{3/2}} \dots\dots\dots (168)$$

$$\frac{Q_w}{\sqrt{2g d_o^3}} = m \pi \left(\frac{h_c}{d_o}\right)^{3/2} \dots\dots\dots (169)$$

O adimensional  $Q_w / \sqrt{2g d_o^3}$  é um número de Froude [76]. Experiências realizadas no C.S.T.C. [77], [78] e [79], Bélgica, mostraram que o coeficiente de descarga  $m$ , varia linearmente com a relação  $h_c/d_o$ , da seguinte forma:

$$m = \alpha + \beta \frac{h_c}{d_o} \dots\dots\dots (170)$$

onde:

$\alpha, \beta$  - coeficientes da expressão que correlaciona  $m$  e  $h_c/d_o$ .

Substituindo-se  $m$  da expressão (170) nas expressões (168) e (169), temos:

$$Q_o = \pi \sqrt{2g} d_o \left( \alpha + \beta \frac{h_c}{d_o} \right) h_c^{3/2} \dots \dots \dots (171)$$

e

$$\frac{Q_o}{\sqrt{2g} d_o} = \pi \left( \alpha + \beta \frac{h_c}{d_o} \right) \frac{h_c^{3/2}}{d_o} \dots \dots \dots (172)$$

Os coeficientes  $\alpha$  e  $\beta$  podem ser determinados experimentalmente.

O escoamento por orifício, figura 36 (b), pode ser expresso por:

$$Q_o = C_d d_o^2 \sqrt{2g h_c} \dots \dots \dots (173)$$

onde:

$C_d$  - coeficiente de descarga do orifício.

Transformando-se a equação (173), temos:

$$Q_o = C_d d_o^2 \sqrt{2g h_c}^{1/2} \dots \dots \dots (174)$$

e

$$\frac{Q_m}{\sqrt{2g d_o^3}} = C_d \left(\frac{h_c}{d_o}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (175)$$

Este tipo de escoamento dificilmente ocorre na prática. As experiências realizadas pelo C.S.T.C. mostraram que tal escoamento somente se verifica quando:

$$\frac{Q_m}{\sqrt{2g d_o^3}} \approx 0,5 \dots\dots\dots (176)$$

Mesmo nesta condição, o regime é instável, e só se estabelece espontaneamente se a condição acima for mantida por um período de tempo relativamente longo. Podemos concluir que a ocorrência de escoamento por orifício, em aparelhos sanitários, é pouco provável, pois no regime de utilização em questão, tal condição (176) é momentânea. As citadas experiências belgas revelaram que  $C_d$  decresce com o aumento da relação  $h_c/d_o$ , permanecendo constante a partir de  $h_c/d_o$  igual a 0,8, com valor de aproximadamente 0,5. Verificaram, também, os pesquisadores que a condição da expressão (176) verifica-se para  $h_c/d_o$  igual a aproximadamente 0,435. Consequentemente, o escoamento por orifício pode ocorrer para pequenos valores de  $h_c$ , tendo em vista que os diâmetros dos orifícios de descarga dos aparelhos sanitários são usualmente pequenos.

O escoamento a conduto forçado, figura 36 (c), pode ser expresso aplicando-se o Teorema de Bernoulli para as secções (1) e (2), na mesma figura. Temos assim:

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_d + h_c + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + 0 + \frac{v_2^2}{2g} + \xi \frac{v_2^2}{2g} \dots (177)$$

Considerando-se a secção de controle do escoamento a secção 2 podemos afirmar que:

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} = 0 \dots (178)$$

Considerando:

$$v_1 \approx 0 \quad \text{e} \quad v_2 = v \dots (179)$$

Substituindo-se as expressões (178) e (179) em (177), vem:

$$h_d + h_c = (1 + \xi) \frac{v^2}{2g} \dots (180)$$

mas,

$$v = \frac{4Q_w}{\pi d_w^2} \dots (181)$$

Substituindo-se (181) em (180) e efetuando-se algumas transformações, temos:

$$Q_w = \frac{\pi}{4} d_w^2 \left( \frac{2g}{1 + \xi} \right)^{1/2} (h_c + h_d)^{1/2} \dots (182)$$

e

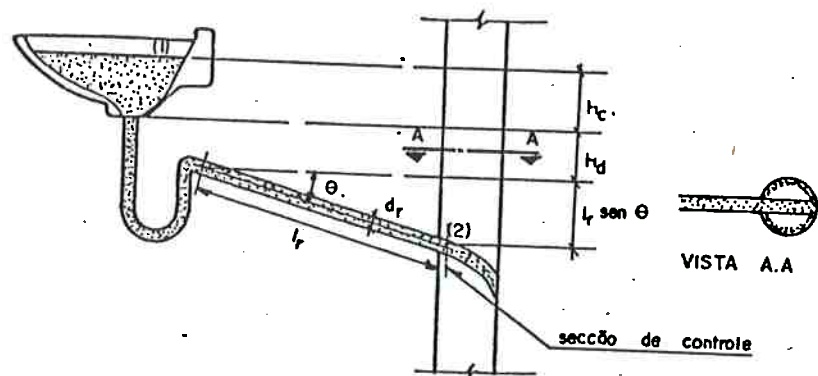
$$\frac{Q_e}{\sqrt{2g d_e}} = \frac{\pi}{4} \left( \frac{1}{1 + \xi} \right)^{1/2} \left( \frac{h_e + h_d}{d_e} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (183)$$

Este regime de escoamento, a conduto forçado, é o predominante durante o período de descarga, para a maioria dos aparelhos sanitários.

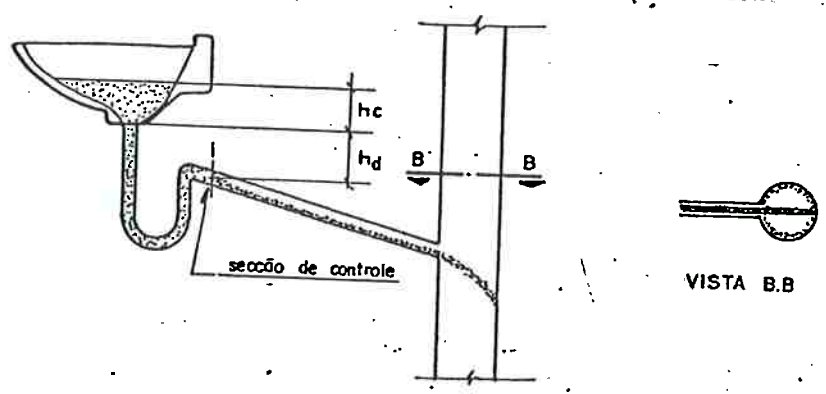
Procurando sintetizar o exposto, consideremos um aparelho sanitário, com nível máximo de água na cuba, iniciando a descarga para o sistema de esgotos sanitários. Admitamos que a altura  $h_e$  inicial (máxima) seja suficientemente grande para que ocorra, nestas condições, escoamento a secção plena no ramal de descarga. A figura 37 (a) apresenta o escoamento em sua fase inicial.

Ocorrido um intervalo de tempo, a partir do início da descarga, e não havendo reposição de água, o nível de água na cuba atingirá um valor  $h_e$ , tal que o escoamento no ramal de descarga se modifica havendo ingresso de ar neste ramal, passando a funcionar com secção parcialmente cheia. Neste caso, a secção de controle é a secção de saída do sifão (ver figura 37 (b)).

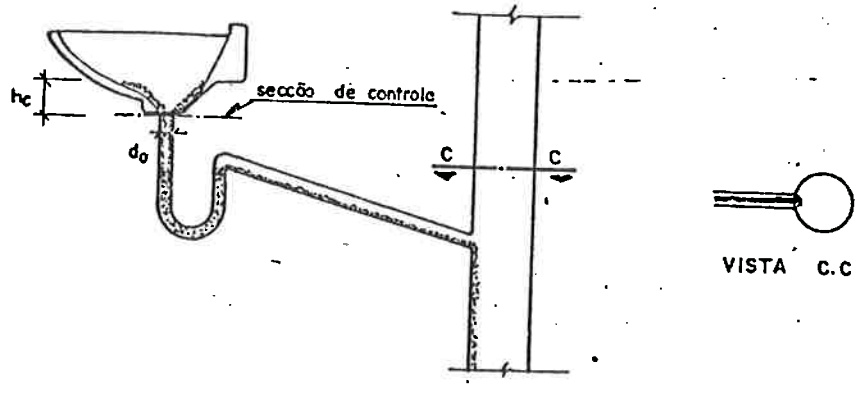
Próximo ao término da descarga do aparelho sanitário, modifica-se novamente o regime de escoamento, para o anular, com já descrito. Nesta situação, a secção de controle passa a ser a do orifício de saída do aparelho sanitário (ver figura 37 (c)).



(a) escoamento a conduto forçado com controle no tubo de queda.



(b) escoamento a conduto forçado com controle na saída do sifão.



(c) escoamento anular com controle no orifício de saída do aparelho sanitário.

Figura 37 - Fases de escoamento em aparelhos sanitários.

Formalizemos, a seguir, as três situações de escoamento descritas e esquematicamente apresentadas na figura 37. Temos assim:

(a). Escoamento a conduto forçado com controle no tubo de queda.

Aplicaremos o teorema de Bernoulli entre as seções (1) e (2) da figura 37 (a). Assim:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_c + H_d + l_r \operatorname{sen} \theta = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + 0 + \xi \frac{v_m^2}{2g} + \xi_r \frac{v_2^2}{2g} \dots (184)$$

Podemos considerar que:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} = 0 \dots (185)$$

$$v_1 = 0 \dots (186)$$

$$v_2 = \frac{4 Q_m}{\pi d_r^2} \dots (187)$$

$$v_m = \frac{4 Q_m}{\pi d_m^2} \dots (188)$$

$$\xi_r = \lambda \frac{l_r}{d_r} \dots (189)$$

onde:

$\xi_r$  - coeficiente de perda de carga do ramal de descarga;

$d_r$  - diâmetro do ramal de descarga;

$d_m$  - diâmetro da secção de saída do sifão;

$l_r$  - comprimento do ramal de descarga;

$\lambda$  - fator de resistência para fluxo turbulento.

Substituindo-se as expressões (185), (186), (187), (188) e (189) em (184), e reagrupando-se os termos da expressão resultante, temos:

$$h_a + h_d + l_r \text{ sen } \theta = K_1 Q_m^2 \dots \dots \dots (190)$$

sendo:

$$K_1 = \frac{8}{\pi^2 g} \left[ \left( 1 + \lambda \frac{l_r}{d_r} \right) \frac{1}{d_r^4} + \xi \frac{1}{d_m^4} \right] \dots \dots \dots (191)$$

(b). Escoamento a conduto forçado com controle na saída do sifão.

Podemos utilizar a expressão (182), obtida para esta situação.

Assim:

$$(h_a + h_d)^{1/2} \frac{\pi}{4} d_m^2 \left( \frac{2g}{1 + \xi} \right)^{1/2} = Q_m \dots \dots \dots (192)$$



Elevando-se, ao quadrado, ambos os membros da expressão (192), e reagrupando-se os termos da expressão obtida, vem:

$$h_e + h_d = K_2 Q_e^2 \dots\dots\dots (193)$$

sendo:

$$K_2 = \frac{8}{\pi^2 g} (1 + \xi) \frac{1}{d_e^4} \dots\dots\dots (194)$$

Comparando-se as expressões (191) e (194); podemos verificar que  $K_1 > K_2$ .

(c). Escoamento anular com controle no orifício de saída do aparelho sanitário.

Segundo Schlag [75], a expressão (172) pode ser também expressa sob a seguinte forma:

$$\frac{Q_e}{\sqrt{2g d_o}} = a \left( \frac{h_e}{d_o} \right)^b \dots\dots\dots (195)$$

Operando algebricamente a expressão (195), temos:

$$h_e = K_3 Q_e^{1/b} \dots\dots\dots (196)$$

sendo:

$$K_s = \frac{1}{a \frac{1/b}{(2g)} \frac{1/2b}{d_o} (b/2b - 1)} \dots \dots \dots (197)$$

Ainda, segundo Schlag [75], os valores de a e b encontrados experimentalmente são os seguintes:

$$a = 2 \quad e \quad b = 5/3 \quad \text{para} \quad Q_u < \frac{2}{3} \sqrt{2g d_o^3}$$

e

$$a = 2,5 \quad e \quad b = 2 \quad \text{para} \quad Q_u > \frac{2}{3} \sqrt{2g d_o^3}$$

Assim, as expressões (196) e (197) são apresentadas para as duas condições acima:

• para  $Q_u < \frac{2}{3} \sqrt{2g d_o^3}$ , temos:

$$h_c = K_s Q_u^{3/5} \dots \dots \dots (198)$$

$$K_s = 0,27 d_o^{-1/2} \dots \dots \dots (199)$$

• para  $Q_u > \frac{2}{3} \sqrt{2g d_o^3}$ , temos:

$$h_c = K_3 Q_e^{1/2} \dots \dots \dots (200)$$

e

$$K_3 = 0,30 d_o^{-1/4} \dots \dots \dots (201)$$

Resumindo-se, as três fases de escoamento podem ser representadas pelas expressões (190) e (191) para controle no tubo de queda, pelas expressões (193) e (194) para controle na saída do sifão, e pelas expressões (198) e (199) ou (200) e (201) para controle no orifício de saída do aparelho sanitário.

Apresentamos, a seguir, exemplo de aplicação da formulação proposta. Consideremos os seguintes parâmetros para um lavatório:

$$h_{cmax} = 13cm;$$

$$d_o = 25mm = 0,025m;$$

$$d_e = 32mm = 0,032m;$$

$$d_r = 40mm = 0,040m;$$

$$\lambda = 0,03 \text{ (suposto constante);}$$

$$l_r = 2,0m;$$

$$\xi = 5,0 \text{ (admitido)}$$

$$h_d = 0,10m;$$

$$tg \theta = 0,005 \text{ (0,5\%).}$$

Calculemos os valores de  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$  através das expressões (191), (194) e (199) ou (201). Temos então:

$$K_1 = 474.686;$$

$$K_2 = 472.630;$$

$$K_3 = 1,71 \text{ (para a expressão (198))};$$

$$K_3 = 0,75 \text{ (para a expressão (200))}.$$

A expressão (190) pode ser assim escrita:

$$h_e + 0,10 + 0,01 = 474.686 Q_e^2 \dots\dots\dots (202)$$

para  $h_e$  em m e  $Q_e$  em  $m^3/s$ , ou

$$h_e + 11 = 47,47 Q_e^2 \dots\dots\dots (203)$$

para  $h_e$  em cm e  $Q_e$  em l/s.

Analogamente, as expressões (193) e (198) ou (200), podem ser assim escritas:

$$h_e + 10 = 47,26 Q_e^2 \dots\dots\dots (204)$$

$$h_e = 2,71 Q_e^{3/5} \dots\dots\dots (205)$$

ou

$$h_e = 2,37 Q_e^{1/2} \dots\dots\dots (206)$$

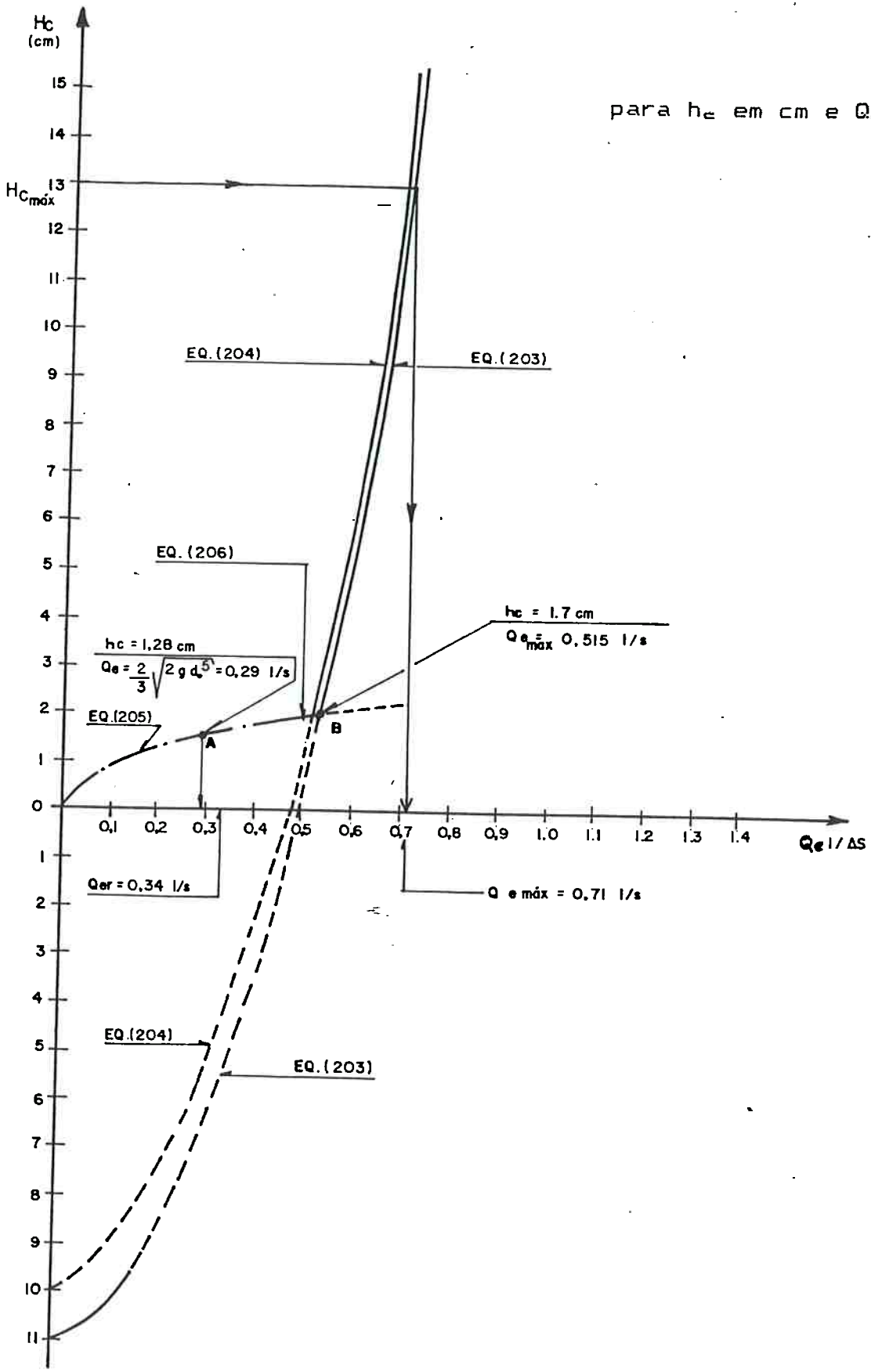


Gráfico 15 - Curva cota ( $h_c$ ) - vazão ( $Q_e$ ) de uma instalação de lavatório.

O gráfico 15 apresenta as expressões (203), (204), (205) e (206), do exemplo desenvolvido.

Analisemos a seguir o comportamento do sistema exemplificado. Para tanto, há que se considerar a capacidade de escoamento do ramal de descarga do aparelho sanitário. Determinemos, então, a vazão que limita o escoamento à secção plena  $Q_{er}$ . Utilizando-se a fórmula de Chézy, com o coeficiente de Manning, temos:

$$Q_{er} = \frac{1}{n} \frac{\pi d_r^2}{4} R_H^{2/3} (\text{tg } \theta)^{1/2} \dots \dots \dots (207)$$

onde:

$n$  - coeficiente que representa a rugosidade das paredes do ramal de descarga;

$R_H$  - raio hidráulico do ramal de descarga.

Para a determinação de  $Q_{er}$  o valor do raio hidráulico é igual a  $d_r/4$ . Temos então:

$$Q_{er} = \frac{0,312}{n} (\text{tg } \theta)^{1/2} d_r^{5/3} \dots \dots \dots (208)$$

Adotando-se  $n = 0,012$  para o exemplo em tela, calculemos  $Q_{er}$ .

Assim:

$$Q_{er} = 0,34 \text{ l/s}$$

Verificamos, então, que no gráfico 15, ao ponto  $Q_{cr}$  igual 0,34 l/s, corresponde um valor de  $h_c$  igual a aproximadamente 1,4cm.

Podemos, assim, concluir que o escoamento estudado, neste exemplo, apresenta-se:

- . para  $0 < Q_{cr} < 0,29$  l/s, temos o escoamento anular representado pela expressão (205);
- . para  $0,29$  l/s  $< Q_{cr} < 0,515$  l/s, temos o escoamento anular representado pela expressão (206);
- . para  $0,515$  l/s  $< Q_{cr} < 0,71$  l/s, temos o escoamento a conduto forçado representado pela expressão (203), pois uma vez que a vazão limite  $Q_{cr}$  é menor do que 0,515 l/s a secção de controle ocorre junto ao tubo de queda.

Pudemos verificar, através do estudo da descarga de aparelhos sanitários, quando liberado o escoamento pela retirada do tampão do orifício de saída do mesmo, que:

- . podem existir três tipos de regime de escoamento distintos e dependentes da posição do nível de água no interior da cuba, no início da descarga (ver figura 36);
- . durante o período em que se processa a descarga do aparelho sanitário pode ocorrer a combinação dos regimes mencionados;
- . a vazão de contribuição do aparelho ao sistema de esgotos sanitários não depende somente do aparelho, mas também da configuração geométrica dos dispositivos que constituem o orifício de saída, o sifão e o ramal de descarga.

A formulação apresentada, em nosso ponto de vista, pode atender de maneira adequada às necessidades de projetistas para o dimensionamento das instalações prediais de esgotos sanitários.

A determinação dos parâmetros característicos das possíveis configurações de aparelhos sanitários e dispositivos complementares, constitui-se em importante objeto de pesquisa, cujos resultados podem possibilitar o aprimoramento do projeto e conseqüentemente das instalações de esgotos sanitários.

Sob o ponto de vista teórico, o melhor conhecimento dos fenômenos relativos à descarga de aparelhos sanitários poderá contribuir substancialmente para a evolução das configurações geométricas dos aparelhos sanitários e dos dispositivos complementares, bem como da metodologia, de projeto. Alguns aspectos a serem avaliados em pesquisas futuras são os seguintes:

- . caracterização geométrica dos aparelhos sanitários visando a. otimização do desempenho dos mesmos, sob o ponto de vista de utilização e de condições de descarga;
- . estudo sobre a influência de extravasores dos aparelhos sanitários, na descarga dos mesmos;
- . condições de início e término de escoamento dos aparelhos sanitários, em regime não permanente;
- . influência da ocorrência de vórtice livre durante a descarga dos aparelhos sanitários;
- . influência dos tipos de orifício de saída na magnitude das vazões, durante a descarga dos aparelhos sanitários.



A preocupação de pesquisadores de vários países com a determinação das vazões contribuintes de aparelhos sanitários, pode ser notada através do exame da literatura técnica sobre o assunto. Verificamos que a maioria dos estudos desenvolvidos procuraram, simplesmente, caracterizar as curvas vazão x duração da descarga para diversos tipos de aparelhos sanitários, em configurações geométricas específicas, sem que uma abordagem de natureza mais ampla fosse feita. Nos Estados Unidos trabalhos sobre o assunto foram desenvolvidos por Hunter [14], em 1929, e por Wily e Hintz, em 1951, referenciados em Manas [66]. Na Inglaterra abordaram o tema Wise e Croft [40], em 1954, e Pink [80], em 1973. Asano e Kiya [74], no Japão, Dauphin e Pichon [81], na França, e Nielsen [82], na Dinamarca, também estudaram o assunto em questão. O CSTC [83] e [84], belga, desenvolveu pesquisas no sentido de caracterizar as vazões dos aparelhos sanitários usualmente utilizados na Bélgica.

Em nosso ponto de vista, os esforços no sentido de se obter uma metodologia que permita a conjugação dos diversos parâmetros intervenientes nas descargas, parâmetros estes individualmente caracterizados, serão de extrema valia para o aperfeiçoamento das técnicas de projeto, dando a estas a flexibilidade necessária.

Abordaremos, a seguir, o assunto relativo à simultaneidade de utilização de aparelhos sanitários, visando a determinação das vazões de projeto para o dimensionamento das tubulações que constituem uma instalação predial de esgotos sanitários.

## 7.2 - A simultaneidade de utilização de aparelhos sanitários

Um sistema predial de coleta de esgotos sanitários recebe contribuição de um número considerável de aparelhos sanitários a ele interligados. Se considerássemos as descargas simultâneas de todos os aparelhos, certamente, estaríamos superdimensionando os diversos elementos da instalação.

No entanto, é bastante improvável que todos os aparelhos estejam, simultaneamente, produzindo descargas e a realização de projetos baseados em tão rara circunstância, conduziria a soluções francamente anti-econômicas, pois as instalações estariam, grande parte do tempo, ociosas.

Surge, então, a idéia de se tratar o problema, buscando o estabelecimento de modelo que represente a condição provável de ocorrências de descargas simultâneas. Não há, entretanto, uma metodologia para o tratamento do problema que seja reconhecida como representativa do fenômeno. Existem, no entanto, vários métodos de abordagem que têm sido utilizados nas diversas partes do mundo, conduzindo a soluções bastante divergentes. Alguns dos citados métodos, de cunho empírico, têm se mostrado inaceitáveis sob o ponto de vista teórico, pois não carregam em seu bojo quaisquer considerações relativas à utilização dos aparelhos, fator este fundamental para o estabelecimento de um critério geral de projeto. Há, ainda, a preocupação, no meio técnico, quanto à definição de metodologia baseada em sólidos conceitos, experimentalmente verificada e de fácil utilização.

Evidentemente, o ponto central e núcleo gerador das divergências é o desconhecimento sobre o comportamento dos usuários com relação ao uso dos aparelhos sanitários.

Em termos conceituais, o problema da determinação de vazões de projeto adequadas apresenta-se de forma semelhante para as instalações prediais de água fria e para as instalações prediais de esgotos sanitários. Logicamente, a caracterização dos parâmetros intervenientes deve ser cuidadosamente estabelecida, diferindo de uma instalação para outra, muito embora as considerações a nível teórico sejam similares.

Gonçalves [17], estudou o problema para as instalações prediais de água fria, identificando vários métodos utilizados internacionalmente. Não nos deteremos, neste trabalho, no exame profundo do problema em questão. Não podemos, no entanto, deixar de lado o tema, pois julgamos importante, para este trabalho, tecer as considerações que se seguem.

Apresentaremos, a seguir, os métodos com base probabilística, não nos atendo aos métodos empíricos.

Consideremos, para a determinação da vazão de projeto, duas possibilidades, a saber:

- sistema homogêneo - é aquele em que a tubulação de esgotos recebe, exclusivamente, contribuições de aparelhos sanitários de um mesmo tipo;

. sistema misto - é aquele em que a tubulação de esgotos recebe contribuição de aparelhos sanitários de diversos tipos.

Estudemos, primeiramente, a determinação do número de aparelhos sanitários a serem considerados em uso simultâneo, para efeitos de estabelecimento da vazão de projeto, para um sistema homogêneo. Consideremos que uma tubulação de esgotos deva ser projetada para o atendimento de um conjunto de  $n$  aparelhos de um mesmo tipo. A probabilidade de que um único aparelho sanitário esteja em funcionamento pode ser expressa por:

$$p = \frac{t}{T} \dots\dots\dots (209)$$

onde:

- $p$  - probabilidade de que um dado aparelho esteja em funcionamento;
- $t$  - duração média da descarga do aparelho;
- $T$  - intervalo de tempo médio entre duas descargas consecutivas, do aparelho considerado.

Então, a partir do valor da probabilidade  $p$ , de que um aparelho esteja em funcionamento, podemos calcular a probabilidade de que  $r$  aparelhos sanitários,  $r < n$ , estejam escoando simultaneamente, utilizando a função distribuição Binomial. Temos assim:

$$P_{n,r} = C_{n,r} p^r (1 - p)^{n-r} \dots\dots\dots (210)$$

onde:

$p_{n,r}$  - probabilidade de que  $r$  aparelhos de um conjunto de  $n$  aparelhos estejam em uso simultaneamente;

$C_{n,r}$  - combinação de  $n$ ,  $r$  a  $r$ .

sendo:

$$C_{n,r} = \frac{n!}{(n-r)! r!} \dots \dots \dots (211)$$

Para a determinação do número  $m$  de aparelhos sanitários que devem ser considerados em uso simultâneo, para o cálculo da vazão de projeto de um trecho de tubulação que recebe contribuição de  $n$  aparelhos sanitários, o critério a ser utilizado pode ser expresso matematicamente da seguinte maneira, de forma análoga ao proposto por Hunter [85]:

$$\sum_{r=0}^m p_{n,r} > 1 - \epsilon \dots \dots \dots (212)$$

onde:

$m$  - número de aparelhos sanitários que devem ser considerados em uso simultâneo, sendo  $m$  o menor inteiro que satisfaça a desigualdade acima;

$\epsilon$  - fator de falha do sistema, ou seja, a porcentagem do tempo durante o qual pode haver mais do que  $m$  aparelhos sanitários em uso simultâneo.

A fixação do fator de falha depende, fundamentalmente, do nível de serviço desejado para a instalação. Burberry [86], admite que o sistema possa "falhar" durante 0,005 do período de pico, enquanto Hunter [85] e outros autores [16], [41], [66], [87] e [88] admitem 0,01 como fator de falha e Webster [89] considera para este fator 0,001.

Considerando-se o valor de 0,01 para o fator de falha, podemos utilizar, para a determinação dos  $m$  aparelhos sanitários em uso simultâneo a tabela 6 elaborada por Gonçalves [17].

$\epsilon = 0,01$

Número Total de Aparelhos - $n$	1	1																								
	2	0,09	1																							
	3	0,05	0,21	1																						
	4	0,04	0,14	0,31	1																					
	5	0,03	0,10	0,22	0,39	1																				
	6	0,02	0,08	0,17	0,29	0,46	1																			
	7	0,02	0,07	0,14	0,23	0,35	0,51	1																		
	8	0,01	0,06	0,12	0,19	0,29	0,41	0,56	1																	
	9	0,01	0,05	0,10	0,17	0,25	0,34	0,45	0,59	1																
	10	0,01	0,04	0,09	0,15	0,21	0,29	0,38	0,49	0,63	1															
	11	0,01	0,04	0,08	0,13	0,19	0,26	0,33	0,42	0,53	0,65	1														
	12	0,01	0,03	0,07	0,12	0,17	0,23	0,30	0,37	0,46	0,56	0,68	1													
	13	0,01	0,03	0,06	0,11	0,15	0,21	0,27	0,33	0,41	0,49	0,58	0,70	1												
	14	0,01	0,03	0,06	0,10	0,14	0,19	0,24	0,30	0,37	0,44	0,52	0,61	0,71	1											
	15	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,17	0,22	0,28	0,34	0,40	0,47	0,54	0,63	0,73	1										
	16	--	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,21	0,26	0,31	0,37	0,43	0,49	0,56	0,65											
	17	--	0,02	0,05	0,08	0,11	0,15	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39	0,45	0,52	0,59											
	18	--	0,02	0,04	0,07	0,10	0,14	0,18	0,22	0,27	0,31	0,36	0,42	0,48	0,54											
	19	--	0,02	0,04	0,07	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,34	0,39	0,44	0,50											
	20	--	0,01	0,04	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,27	0,32	0,36	0,41	0,46											
50	--	--	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14												
Número de Aparelhos em Uso Simultâneo - $m$																										

Tabela 6 - Valores limites de  $p$  - função de distribuição de probabilidades binomial.

Assim, a partir da tabela 6, conhecendo-se a duração média da descarga  $t$ , o intervalo de tempo médio entre descargas consecutivas  $T$  e o número total de aparelhos sanitários instalados  $n$ , de um mesmo tipo, podemos estabelecer o número de aparelhos sanitários a serem admitidos em uso simultâneo  $m$ , para um fator de falha igual a 0,01. Conhecendo-se a vazão do tipo de aparelho sanitário  $q$  e o número de aparelhos sanitários em uso simultâneo  $m$ , calculamos a vazão de projeto do trecho da instalação que recebe a contribuição destes aparelhos sanitários. Temos assim:

$$q_p = m q \dots\dots\dots (213)$$

onde:

$q_p$  - vazão de projeto do trecho considerado;

$q$  - vazão do aparelho sanitário.

Estudemos, a seguir a determinação da vazão de projeto de um trecho de tubulação que atende um sistema misto, ou seja, aquele que recebe contribuição de aparelhos sanitários de diversos tipos.

O pesquisador Courtney [90] desenvolveu modelo probabilístico para determinação de vazões de projeto em instalações prediais de água fria, utilizando a função de distribuição Multinomial. Consideremos para esgotos sanitários, o emprego da função de distribuição Multinomial para a determinação das vazões de projeto em sistemas mistos.

Suponhamos que para uma dada acomodação sanitária, que é atendida por um tubo de queda de esgotos sanitários, possam ocorrer  $r$  diferentes valores de vazões  $q_1, q_2, \dots, q_1, \dots, q_r$  ( $q_1 \neq 0$ ), com probabilidades de ocorrência  $p_1, p_2, \dots, p_1, \dots, p_r$  associadas a estas vazões, durante um período de pico, e também, uma probabilidade  $p_0$  de que o sistema não esteja em funcionamento, isto é, com vazão igual a zero. Consideremos, ainda, que o tubo de queda atenda  $n$  acomodações sanitárias, com as características acima. A probabilidade de que para as  $n$  acomodações sanitárias, atendidas pelo tubo de queda considerado,  $x_0$  acomodações estejam com vazão nula,  $x_1$  acomodações com vazão  $q_1, \dots, x_r$  acomodações estejam com vazão  $q_r$ , pode ser calculada pela função distribuição Multinomial. Temos então:

$$P (X_0 = x_0, X_1 = x_1, \dots, X_r = x_r) = n! \frac{p_0^{x_0} p_1^{x_1} \dots p_r^{x_r}}{x_0! x_1! \dots x_r!} \dots (214)$$

sendo:

$$x_0 + x_1 + \dots + x_r = n \dots (215)$$

e

$$p_0 + p_1 + \dots + p_r = 1 \dots (216)$$

Assim, a vazão associada à probabilidade da expressão (214) e logicamente aos valores  $x_0, x_1, \dots, x_r$  pode ser expressa por:

$$Q = x_1 q_1 + x_2 q_2 + \dots + x_r q_r \dots (217)$$



onde:

$q_i$  -  $i$ -ésimo valor possível para a vazão de cada acomodação sanitária considerada;

$x_i$  - número de acomodações sanitárias com vazão  $q_i$ ;

$p_i$  - probabilidade de ocorrência da vazão  $q_i$ .

Desta forma, a partir das expressões (214) e (217), podemos associar probabilidades a intervalos de vazão, pré-estabelecidos, em função das expressões mencionadas.

A tabela 7 apresenta como devem ser organizados os intervalos de vazão considerados, as probabilidades associadas aos intervalos ( $p_1, p_2, \dots, p_n$ ) que são obtidas a partir da expressão (214), e as probabilidades acumuladas para cada intervalo.

Temos ainda que considerar:

Intervalo de vazões	Probabilidade	Probabilidade Acumulada
$Q < Q_1$	$P_1$	$P_1$
$Q_1 < Q < Q_2$	$P_2$	$P_1 + P_2$
.	.	.
.	.	.
$Q_{n-1} < Q < Q_n$	$P_n$	$\sum_{i=1}^n P_i$

Tabela 7 - Intervalo de vazões e probabilidades acumuladas associadas - função de distribuição de probabilidades multinomial.

$$Q_1 < Q_2 < \dots < Q_n \dots \dots \dots (218)$$

Admitindo-se um fator de falha  $\epsilon$ , desejamos, conseqüentemente, que a expressão abaixo seja observada:

$$\sum_{i=1}^n P_i > 1 - \epsilon \dots \dots \dots (219)$$

Logo, da tabela 7, podemos obter a vazão de projeto  $Q_p$ , para o dimensionamento da tubulação que atende as  $n$  acomodações sanitárias. Temos assim que:

$$Q_p = Q_n \dots \dots \dots (220)$$

Como podemos observar, a aplicação da função de distribuição de probabilidades multinomial, para a determinação das vazões de projeto em sistemas mistos, requer o conhecimento das probabilidades  $p_1, p_2, \dots, p_r$  associadas às vazões possíveis de ocorrer em determinada acomodação sanitária, o que implica na necessidade de levantamento de dados de campo, dados estes de difícil obtenção.

Assim, sob o ponto de vista da praticidade de aplicação, a função de distribuição de probabilidades multinomial apresenta inúmeras dificuldades, muito embora seja ela a função de distribuição de probabilidades conceitualmente adequada.

Podemos, também, admitir que para sistemas mistos de aparelhos sanitários a aplicação da função de distribuição de probabilidades binomial pode ser feita a partir das hipóteses que se seguem.

Consideremos  $n$  acomodações sanitárias iguais, atendidas por uma única tubulação de esgotos sanitários, sendo que cada acomodação contém  $L$  tipos diferentes de aparelhos sanitários, como usualmente ocorre em edificios residenciais.

A probabilidade de que um dado aparelho sanitário do tipo 1 esteja em funcionamento pode ser expressa por:

$$p_1 = \frac{t_1}{T_1} \dots \dots \dots (221)$$

onde:

- $p_1$  - probabilidade de que um aparelho do tipo 1 esteja em funcionamento;
- $t_1$  - duração média da descarga do aparelho do tipo 1;
- $T_1$  - intervalo de tempo médio entre duas descargas consecutivas do aparelho do tipo 1.

Utilizando-se a expressão (210), isto é, a função de distribuição de probabilidades binomial, podemos escrever:

$$p(n_1, r_1) = C(n_1, r_1) p_1^{r_1} (1 - p_1)^{n_1 - r_1} \dots \dots \dots (222)$$

onde:

$p(n_1, r_1)$  - probabilidade de que  $r_1$  aparelhos do tipo 1 de um conjunto de  $n_1$  aparelhos estejam em uso simultaneamente;

$C(n_1, r_1)$  - combinação de  $n_1, r_1$  a  $r_1$ ;

$n_1$  - número de aparelhos do tipo 1;

$r_1$  - número de aparelhos do tipo 1 em uso simultâneo.

Considerando-se que, para os sistemas prediais de esgotos sanitários os tubos de queda são projetados com diâmetros constantes, atendendo conseqüentemente à totalidade dos aparelhos sanitários a eles ligados, os valores de  $n_1$  são, em geral, grandes. Considerando-se, ainda, que as probabilidades  $p_1$  são, geralmente, pequenas, podemos aproximar a função de distribuição de probabilidades binomial pela função densidade de probabilidade normal, segundo o teorema limite de De Moivre-Laplace [91] [92].

Assim, a função densidade de probabilidade normal obtida terá:

$$\mu_1 = n_1 p_1 \dots\dots\dots (223)$$

$$\sigma_1^2 = n_1 p_1 (1 - p_1) \dots\dots\dots (224)$$

onde:

$\mu_1$  - número médio de aparelhos sanitários do tipo 1 em uso simultâneo;

$\sigma_1$  - desvio padrão do número de aparelhos sanitários do tipo 1 em uso simultâneo.

Assim, a partir da função densidade de probabilidade normal, e associando-se um determinado nível de confiabilidade, podemos escrever que:

$$m_1 \geq \mu_1 + f_c \sigma_1 \dots\dots\dots (225)$$

onde:

$m_1$  - número de aparelhos sanitários do tipo 1 que devem ser considerados em uso simultâneo;

$f_c$  - fator de confiabilidade.

O valor  $m_1$  deve ser o menor inteiro que satisfaça a condição da expressão (225).

Substituindo-se  $\mu_1$  e  $\sigma_1$  das expressões (223) e (224) na expressão (225), temos:

$$m_1 \geq n_1 p_1 + f_c \sqrt{n_1 p_1 (1 - p_1)} \dots\dots\dots (226)$$

Os valores de  $f_c$  podem ser obtidos a partir da fixação do fator de falha  $\epsilon$ , através da função densidade de probabilidade normal.

A tabela B apresenta alguns valores de  $f_c$ .

Como vimos anteriormente, os valores do fator de falha  $\epsilon$ , usualmente adotados, são 0,01, 0,005 e 0,001, correspondendo a estes os valores de  $f_c$  2,326, 2,576 e 3,090, respectivamente.

$\epsilon$	$f_c$
0,100000	1,282
0,050000	1,645
0,025000	1,960
0,010000	2,326
0,005000	2,576
0,001000	3,090
0,000500	3,291
0,000050	3,891
0,000005	4,417

Tabela 8 - Valores do fator de confiabilidade -  $f_c$ .

Desta forma, podemos determinar a vazão de projeto, considerando os L tipos diferentes de aparelhos sanitários, conhecendo-se as vazões unitárias  $q_1$  de cada um dos tipos de aparelhos sanitários.

Temos então:

$$q_p = m_1 q_1 + m_2 q_2 + \dots + m_L q_L = \sum_{i=1}^L m_i q_i \dots \dots \dots (227)$$

Assim, através da expressão (227), podemos calcular a vazão  $q_p$ , tanto para sistemas mistos, como para sistemas homogêneos ( $l =$

1), bastando que, para isso, sejam conhecidas as probabilidades de que cada aparelho esteja em funcionamento ( $p_1$ ), a vazão unitária de cada tipo de aparelho ( $q_1$ ) e o número total de aparelhos de um mesmo tipo ( $n_1$ ). Deve, também, o projetista estabelecer um fator de falha, para a determinação do número de aparelhos sanitários, de cada tipo, em uso simultâneo ( $m_1$ ). Logicamente, adotando-se este procedimento, o fator de falha do sistema será menor do que os fatores de falha considerados, hipótese esta a favor da segurança.

Como verificamos anteriormente, em 7.1, conhecendo-se as características geométricas de instalação de cada aparelho sanitário, e as condições de utilização do aparelho, podemos determinar a vazão unitária deste aparelho ( $q_1$ ) e também a duração de sua descarga ( $t_1$ ). As condições de solicitação representadas pela frequência de utilização de cada tipo de aparelho sanitário, devem ser estudadas em função do número de usuários e da quantidade de aparelhos sanitários, de cada tipo, disponíveis para uso. Gonçalves [17], Davidson e Courtney [93], estudaram o assunto relativo à determinação dos intervalos de tempo médios entre usos consecutivos de aparelhos sanitários de um mesmo tipo ( $T_1$ ).

Na falta de dados experimentais nacionais, utilizaremos, neste trabalho, valores encontrados na bibliografia sobre o assunto, adequando-os, na medida do possível, aos padrões nacionais. Consideramos, para este fim, os valores apresentados por Hunter [13], [14], [85], Wise [16], [31], [40], Howick [41], Pink [80],

CSTC [83], [84], Chakrabarti [88], [94], Webster [89], Torres [87], Kiya [95] e Konen [96], [97], [98]. Também utilizamos os valores contidos no BS 5572 [99], Inglaterra - 1978 e no regulamento sanitário belga [100], [101], Bélgica - 1977.

Apresentamos, então, na tabela 9 valores de  $q_1$ ,  $t_1$ ,  $T_1$  e  $p_1$  para alguns tipos de aparelhos sanitários.

aparelho sanitário	$q_1$ (l/s)	$t_1$ (s)	$T_1$ (s)	$p_1$
bacia sanitária	2,3	7	1.200	0,0058
lavatório (água corrente)	0,15	60	1.200	0,0500
lavatório (cuba cheia)	0,6	10	1.200	0,0083
bidê	0,5	20	1.800	0,0111
chuveiro	0,15	300	1.200	0,2500
banheira (40mm)	1,1	75	4.500	0,0167
pia de cozinha (água corrente)	0,2	240	1.200	0,2000
pia de cozinha (cuba cheia)	0,9	25	1.200	0,0208
tanque (água corrente)	0,2	240	1.200	0,2000
tanque (cuba cheia)	1,0	25	1.200	0,0208

Tabela 9 - Valores dos parâmetros para o cálculo de vazões de projeto.



Podemos construir, através da tabela 9 e da expressão (226), a tabela 10 que apresenta valores para o número de aparelhos sanitários que devem ser considerados em uso simultâneo, na determinação da vazão de projeto, conhecendo-se o número total de aparelhos de cada tipo e o fator de falha  $\epsilon$  de 0,01.

aparelho sanitário	q1 (l/s)	Te (min)	número de aparelhos em uso (m <sub>1</sub> )					
			1	2	3	4	5	6
bacia sanitária	2,30	20	23	77	147	228	318	414
lavatório (água corrente)	0,15	20	2	9	17	27	37	49
lavatório (cuba cheia)	0,60	20	16	54	103	160	222	289
bidê	0,5	30	12	40	77	119	166	217
chuveiro	0,15	20	1	2	4	6	8	10
banheira	1,1	85	8	27	51	79	111	144
pia de cozinha (água corrente)	0,2	20	1	2	4	7	10	13
pia de cozinha (cuba cheia)	0,9	20	6	21	41	64	89	116
tanque (água corrente)	0,2	20	1	2	4	7	10	13
tanque (cuba cheia)	1,0	20	6	21	41	64	89	116

n. de aparelhos instalados (n<sub>1</sub>)

Tabela 10 - Número de aparelhos sanitários em uso simultâneo (m<sub>1</sub>) em função do número de aparelhos instalados (n<sub>1</sub>) para diversos tipos de aparelhos ( $\epsilon = 0,01$ ).

Evidentemente, os valores da tabela 10 permitem a determinação da vazão de projeto para sistemas homogêneos, no caso de sua utilização para sistemas mistos, os resultados obtidos levam a um fator de falha  $E$  menor do que 0,01, ficando a instalação dimensionada a favor da segurança.

Apresentemos, a seguir, exemplo para o qual aplicaremos a função distribuição multinomial e a simplificação através da função distribuição binomial, com aproximação normal.

Consideremos um edifício residencial, com 5 (cinco) pavimentos, contendo um único tubo de queda de esgotos sanitários, por apartamento, atendendo aos seguintes aparelhos sanitários:

1 bacia sanitária -	$p_1 = 0,0058$	e	$q_1 = 2,3 \text{ l/s;}$
1 lavatório -	$p_2 = 0,0500$	e	$q_2 = 0,15 \text{ l/s;}$
1 chuveiro -	$p_3 = 0,2500$	e	$q_3 = 0,15 \text{ l/s;}$
1 pia de cozinha -	$p_4 = 0,2000$	e	$q_4 = 0,20 \text{ l/s;}$
1 tanque -	$p_5 = 0,2000$	e	$q_5 = 0,20 \text{ l/s.}$

#### 1. Procedimento de cálculo - Multinomial

Calculemos, inicialmente, as probabilidades associadas às vazões possíveis de ocorrer no ramal de cada pavimento. Temos assim:

$$P(q_r = 0) = (1 - p_1) (1 - p_2) \dots (1 - p_5) = 0,4533552$$

$$P(q_r = 0,15) = (1 - p_1) p_2 (1 - p_3) \dots (1 - p_5) + \\ + (1 - p_1) (1 - p_2) p_3 (1 - p_4) (1 - p_5) = 0,1749792$$

Analogamente, podemos calcular as probabilidades restantes. A tabela 11 apresenta os valores destas probabilidades associadas às respectivas vazões passíveis de ocorrência.

Analisando-se a tabela 11, podemos verificar que existem 17 possibilidades de ocorrência de vazões distintas, incluindo a vazão nula. A utilização da Multinomial com todas estas possibilidades implicaria em grande trabalho computacional. Com o intuito de simplificar os procedimentos de cálculo, adotaremos 3 (três) vazões possíveis, incluindo a nula. Temos assim:

$$\begin{aligned} q_{r0} &= 0 & - & & p_{r0} &= 0,4534; \\ q_{r1} &= 0,30 \text{ l/s} & - & & p_{r1} &= 0,5408; \\ q_{r2} &= 2,50 \text{ l/s} & - & & p_{r2} &= 0,0058. \end{aligned}$$

A vazão  $q_{r1}$  é superior ao valor esperado de vazão na faixa entre 0,15 l/s e 0,70 l/s, e a vazão  $q_{r2}$  é superior ao valor esperado de vazão na faixa entre 2,3 l/s e 3,0 l/s, como podemos observar na tabela 11. Associamos, ainda, a somatória das probabilidades das vazões da faixa 0,15 l/s - 0,70 l/s à vazão  $q_{r1}$  e à somatória das probabilidades das vazões da faixa 2,3 l/s - 3,0 l/s à vazão  $q_{r2}$ . Este procedimento conduz a resultados a favor da segurança.

Apliquemos, a seguir, a função distribuição de probabilidades multinomial, apresentada na expressão (214). Temos assim:

$$P(X_0 = x_0, X_1 = x_1, X_2 = x_2) = \frac{n!}{x_0! x_1! x_2!} p_{r0}^{x_0} p_{r1}^{x_1} p_{r2}^{x_2}$$

sendo:

$$x_0 + x_1 + x_2 = 5 \quad \text{e} \quad p_{r0} + p_{r1} + p_{r2} = 1$$

Utilizando-se a expressão (217) calculamos a vazão que ocorre associada à probabilidade acima, para os valores  $x_0$ ,  $x_1$  e  $x_2$ .

Temos então:

$$Q(x_0, x_1, x_2) = 0,30 x_1 + 2,50 x_2$$

Evento	Vazão I/s	Probabilidade de ocorrência	Probabilidade acumulada
1	0,00	0,4533552	0,4533552
2	0,15	0,1749792	0,6283344
3	0,20	0,2266776	0,8550120
4	0,30	0,0079536	0,8629656
5	0,35	0,0874896	0,9504552
6	0,40	0,0283347	0,9787899
7	0,50	0,0039768	0,9827667
8	0,55	0,0109362	0,9937029
9	0,70	0,0004971	0,9942000
10	2,30	0,0026448	0,9968448
11	2,45	0,0010208	0,9978656
12	2,50	0,0013224	0,9991188
13	2,60	0,0000461	0,9992234
14	0,65	0,0005104	0,9997445
15	2,70	0,0001653	0,9999098
16	2,85	0,0000634	0,9999732
17	3,00	0,0000029	0,9999761 ≈ 1

Tabela 11 - Valores de probabilidades de ocorrência das vazões passíveis de se estabelecer em um ramal de esgoto predial.

Podemos, a seguir, construir a tabela 12, similarmente à tabela 7, ordenando-se as vazões que ocorrem no sistema, na ordem crescente, e associando-se as respectivas probabilidades.

Admitindo-se o fator de falha  $\epsilon$  igual a 0,01, a vazão de projeto será aquela que atender à condição da expressão (219), que aqui transcrevemos:

$$\text{Probabilidade acumulada} > 1 - \epsilon = 0,01$$

Assim, da tabela 12, podemos determinar a vazão de projeto a ser considerada no dimensionamento do tubo de queda, sendo esta:

$$q_p = 3,40 \text{ l/s}$$

Evento	Vazões l/s	Valores de			Probabilidade de ocorrência	Probabilidade acumulada
		$x_0$	$x_1$	$x_2$		
1	0,00	5	0	0	0,0191605	0,0191605
2	0,30	4	1	0	0,1142701	0,1334306
3	0,60	3	2	0	0,2725950	0,4060256
4	0,90	2	3	0	0,3251420	0,7311676
5	1,20	1	4	0	0,1939091	0,9250767
6	1,50	0	5	0	0,0462576	0,9713343
7	2,50	4	0	1	0,0012255	0,9725598
8	2,80	3	1	1	0,0058471	0,9784069
9	3,10	2	2	1	0,0104613	0,9888682
10	3,40	1	3	1	0,0083186	0,9971868
11	3,70	0	4	1	0,0024805	0,9996673
12	5,00	3	0	2	0,0000314	0,9996987
13	5,30	2	1	2	0,0001122	0,9998109
14	5,60	1	2	2	0,0001338	0,9999447
15	5,90	0	3	2	0,0000532	0,9999779
16	7,50	2	0	3	0,0000004	0,9999983
17	7,80	1	1	3	0,0000010	0,9999993
18	8,10	0	2	3	0,0000006	0,9999999
19	10,00	1	0	4	$2,565449 \times 10^{-9}$	0,9999999
20	10,30	0	1	4	$3,059980 \times 10^{-12}$	0,9999999
21	12,50	0	0	5	$6,563560 \times 10^{-12}$	1,0000000

Tabela 12 - Valores de probabilidades de ocorrência das vazões passíveis de se estabelecer em um tubo de queda de um edifício residencial de 5 pavimentos.

## 2. Procedimento de cálculo - Binomial / Normal

Para o edifício em questão, a partir do número de aparelhos sanitários de cada tipo, utilizando-se a tabela 10, podemos calcular a vazão de projeto. Temos então:

5 bacias sanitárias	- 1 x 2,30 = 2,30 l/s;
5 lavatórios	- 2 x 0,15 = 0,30 l/s;
5 chuveiros	- 4 x 0,15 = 0,60 l/s;
5 pias de cozinha	- 4 x 0,20 = 0,80 l/s;
5 tanques	- 4 x 0,20 = 0,80 l/s;
	<hr/>
	4,80 l/s

Assim sendo, a vazão de projeto, calculada pela Binomial/Normal, é 4,80 l/s.

Comparando-se os valores da vazão do projeto determinados pelos dois procedimentos, podemos verificar que a utilização da função de distribuição de probabilidades binomial conduz a resultados consideravelmente superiores ao obtido com a função de distribuição de probabilidades multinomial, que, como vimos anteriormente, é aquela conceitualmente adequada.

Cabe salientar, que os procedimentos de cálculo adotados internacionalmente, incluindo o método de Hunter e o da normalização inglesa e belga, utilizam procedimento semelhante ao aqui denominado Binomial/Normal, utilizando pesos associados a aparelhos sanitários ("discharge units").

Como mencionamos, anteriormente, ao adotarmos  $\epsilon$  igual a 0,01, no procedimento Binomial/Normal, estamos, na verdade, determinando um fator de falha para a instalação, consideravelmente inferior a 0,01. Utilizando o exemplo apresentado, o fator de falha para a vazão de 4,80 l/s é de aproximadamente 0,00033, isto é trinta vezes menor que 0,01.

Considerando que os dados utilizados nas tabelas 9 e 10 são superestimados na sua maioria, é de todo desejável dirigir-se esforços de pesquisa no sentido de obtermos dados mais acurados sobre as vazões dos aparelhos sanitários ( $q_1$ ), as durações das descargas ( $t_1$ ) e os intervalos médios entre utilizações dos aparelhos sanitários ( $T_1$ ), bem como desenvolver formulação matemática e estatística mais adequada. Com o aprimoramento dos computadores pessoais, torna-se bastante viável a utilização de procedimentos de cálculo que envolvam grande trabalho computacional, procedimentos estes que há alguns anos atrás deveriam ser obrigatoriamente simplificados.

Estudamos, nesta parte do trabalho, a influência da simultaneidade da utilização de aparelhos sanitários, no estabelecimento das vazões de projeto das tubulações que constituem os sistemas prediais de esgotos sanitários.

Abordaremos, a seguir, o assunto relativo à capacidade das tubulações horizontais e verticais, em permitir o adequado escoamento das vazões provenientes dos aparelhos sanitários.

### 7.3. Ramais de descarga e ramais de esgoto.

Estudaremos, nesta parte do trabalho, a capacidade das tubulações, de um sistema predial de esgotos sanitários, que recebem exclusivamente os efluentes de um único aparelho sanitário, designados por ramais de descarga. Estudaremos, também, os trechos de tubulações horizontais que recebem os efluentes de ramais de descarga, designados por ramais de esgoto, e que conduzem estes efluentes ao tubo de queda.

Conforme abordamos no item 7.1, o estabelecimento da vazão de um aparelho é influenciado pela configuração geométrica da instalação, isto é, esta vazão é influenciada, também pelas características geométricas do ramal de descarga que atende ao aparelho sanitário.

Assim, o estudo dos ramais de descarga requer uma abordagem conjunta do sistema aparelho sanitário - ramal de descarga, como apresentado em 7.1.

A iteração ramal de descarga - aparelho sanitário deve ser cuidadosamente avaliada, considerando-se os tipos de escoamento possíveis de ocorrência e as secções de controle durante o curso das descargas.

Verificamos, anteriormente, que os tipos de escoamento de aparelhos sanitários que podem ocorrer são fundamentalmente:



- escoamento anular;
- escoamento por orifício;
- escoamento a conduto forçado.

O dimensionamento do ramal de descarga fica condicionado ao critério de projeto adotado. Assim, a determinação das características geométricas do ramal de descarga depende, fundamentalmente, da escolha da secção de controle a ser considerada no dimensionamento desta tubulação para efeito de dimensionamento do ramal de descarga admitiremos duas possibilidades:

- secção de controle a montante do ramal de descarga;
- secção de controle a jusante do ramal de descarga.

Analisemos, inicialmente, o caso quando consideramos a secção de controle a montante do ramal de descarga. A adoção desta hipótese presume que o escoamento no interior do ramal de descarga ocorra livremente, não exercendo pressão hidrostática nas paredes da tubulação. Assim o ramal de descarga deve ser projetado de maneira a garantir a ocorrência do escoamento a conduto livre, para a máxima vazão proveniente do aparelho sanitário.

Nestas condições, a vazão a ser considerada no dimensionamento do ramal de descarga, a conduto livre, é aquela já apresentada nas expressões (164) e (165), que aqui reproduzimos. Temos assim:

$$Q_{L2} = k_{d2} \sqrt{h_d + h_{cmax}} \dots \dots \dots (228)$$

sendo:

$$k_{d2} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g}{1 + \xi}} d_w^2 \dots \dots \dots (229)$$

A figura 35 apresenta, esquematicamente, os elementos constantes nas expressões (228) e (229).

Conhecendo-se a vazão  $Q_{w2}$ , podemos dimensionar o ramal de descarga utilizando-se a fórmula de Manning, para regime permanente. A expressão (207), apresenta a referida fórmula, para secção plena:

$$Q_w = \frac{1}{n} \frac{\pi d_r^2}{4} R_H^{2/3} (\text{tg } \theta)^{1/2} \dots \dots \dots (230)$$

Fazendo-se, na expressão acima:

$$\text{tg } \theta = I, \dots \dots \dots (231)$$

$$Q_w = Q_{w2}, \dots \dots \dots (232)$$

$$R_H = \frac{d_r}{4}, \dots \dots \dots (233)$$

Substituindo-se (231), (232) e (233) em (230), e efetuando-se algumas transformações, temos para secção plena a seguinte expressão:

$$d_r = \frac{n}{0,646} Q_{w2}^{3/8} I^{-3/16} \dots \dots \dots (234)$$

para escoamento a meia secção, adotando-se o mesmo procedimento, temos:

$$d_r = \frac{n^{3/8} Q_{m2}^{-3/8} I^{-3/16}}{0,498} \dots \dots \dots (235)$$

Substituindo-se, ainda,  $k_{d2}$  de (229) em (228) e  $Q_{m2}$  de (228) em (234) e (235), e efetuando-se algumas transformações algébricas, vem:

- para secção plena:

$$d_r = 2,50 n^{3/8} d_m^{3/4} \left( \frac{h_d + h_{cmax}}{I(1 + \xi)} \right)^{3/16} \dots \dots \dots (236)$$

- para meia secção:

$$d_r = 3,20 n^{3/8} d_m^{3/4} \left( \frac{h_d + h_{cmax}}{I(1 + \xi)} \right)^{3/16} \dots \dots \dots (237)$$

Assim, o diâmetro do ramal de descarga deve ser o menor diâmetro comercial que supera o valor  $d_r$  da expressão (236) ou (237), devendo, ainda, ser observada a seguinte condição:

$$d_r \geq d_m, \dots \dots \dots (238)$$

para que evitemos o estrangulamento na saída do sifão, procurando minimizar problemas de bloqueio ocasionados por eventuais depósitos.

Sugerimos a adoção, em geral, da expressão (236), pois a vazão ao longo da descarga do aparelho sanitário diminui, sendo o valor  $Q_{\text{máx}}$  o máximo.

A utilização da expressão (236), no entanto, deve ser feita quando o controle sobre os parâmetros geométricos do ramal puder ser garantido. Caso contrário, recomendamos o emprego da expressão (237).

Apresentamos a tabela 13 com os valores de vazão máxima no ramal de descarga, para  $n$  da fórmula de Manning igual a 0,012. O escoamento considerado nesta tabela 13 foi à secção plena.

Para a obtenção das capacidades dos ramais de descarga à meia secção, basta dividirmos por 2 os valores da tabela 13.

DN (mm)	DECLIVIDADES (%)					
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
25	0,01	0,14	0,17	0,20	0,24	0,29
32	0,19	0,27	0,33	0,38	0,47	0,54
40	0,34	0,49	0,60	0,69	0,84	0,97
50	0,62	0,88	1,08	1,25	1,53	1,76
65	1,26	1,78	2,17	2,51	3,08	3,55
75	1,84	2,60	3,19	3,68	4,51	5,20
100	3,96	5,60	6,86	7,92	9,70	11,20
150	11,68	16,52	20,23	23,36	28,61	33,03

Tabela 13 - Capacidades de tubulações horizontais à secção plena, em l/s - fórmula de Manning ( $n = 0,012$ ).

Assim, conhecendo-se a vazão  $Q_{m2}$ , máxima, podemos determinar o diâmetro do ramal de descarga  $d_r$ , considerando-se a hipótese de que a secção de controle localiza-se a montante deste ramal.

Consideremos, a seguir, o caso quando a secção de controle é a de jusante do ramal de descarga. Neste caso, as características geométricas do ramal de descarga influenciam a vazão do aparelho sanitário, isto é, a obtenção do diâmetro do ramal depende da vazão que se estabelece e vice versa. O escoamento de água no ramal ocorre a conduto forçado, sempre que se verificar a seguinte condição:

$$Q_{or} < Q_{m2} \dots\dots\dots (239)$$

Nestas condições, a determinação do ramal de descarga deverá ser feita através das expressões (190) e (191), aqui transcritas:

$$h_c + h_d + l_r \text{ sen } \theta = K_1 Q_m^2 \dots\dots\dots (240)$$

sendo:

$$K_1 = \frac{8}{\pi^2 g} \left[ \left(1 + \frac{l_r}{d_r}\right) \frac{1}{d_r^4} + \frac{1}{d_m^4} \right] \dots\dots\dots (241)$$

Assim, o procedimento de cálculo é iterativo pois desconhecemos, a priori, a vazão  $Q_m$ . Dependendo das características da instalação, cabe efetuarmos análise semelhante à apresentada no exemplo do item (c) de 7.1.

Podemos concluir que quando o ramal de descarga trabalha a "conduto livre":

- a vazão do aparelho sanitário não é influenciada pelo comprimento do ramal;
- a vazão do aparelho sanitário não é influenciada pelo diâmetro do ramal;
- a vazão do aparelho sanitário não é influenciada pela declividade do ramal;
- a possibilidade de perda de água, devido à auto-sifonagem é reduzida, pois somente ocorre devido à redução da secção transversal por resíduos depositados na tubulação;
- a duração da descarga do aparelho sanitário não é influenciada pelo ramal de descarga.

Podemos concluir, também, que quando o ramal de descarga trabalha a "conduto forçado":

- as características geométricas do ramal influenciam na vazão do aparelho sanitário;
- a duração da descarga do aparelho sanitário é influenciada pelo ramal de descarga;
- existe a possibilidade de ocorrência de perda de água devido à auto-sifonagem, dependendo das características da instalação.

A experimentação realizada por Hanslin [102] e Mambourg [103] comprovam as conclusões que acima expusemos, obtidas da análise das expressões desenvolvidas neste trabalho. Acrescentariamos

ainda, que os citados pesquisadores trabalharam a nível exclusivamente experimental, não conceituando as causas dos fenômenos, sob o ponto de vista de comportamento hidráulico.

Para efeitos de utilização em projeto, julgamos conveniente a adoção do critério considerando a secção de controle a montante do ramal de descarga, ou seja regime a "conduto livre". A utilização do critério considerando a secção de controle a jusante do ramal pode ser feita quando o projetista necessita controlar a vazão do aparelho sanitário.

No dimensionamento de ramais de esgoto, ou seja, trechos de tubulação que recebem os efluentes dos ramais de descarga, devemos considerar as seguintes situações distintas:

- ramais de esgoto que atendem às acomodações sanitárias de uso público; neste caso, as vazões de projeto podem ser estabelecidas conforme os procedimentos propostos no item 7.2;
- ramais de esgoto que atendem às acomodações sanitárias de uso privado; neste caso, a aplicação de critérios probabilísticos não é adequada, devendo o projetista avaliar as possibilidades de simultaneidade de uso dos aparelhos sanitários instalados, considerando o nível de compartimentalização das unidades sanitárias e o tipo de utilização das mesmas. Isto se deve ao fato de que ambientes sanitários de uso privado possuem características de utilização peculiares, ligadas aos hábitos particulares de seus usuários, individualmente.

A partir do conhecimento das vazões de projeto, obtidas conforme as considerações acima, podemos dimensionar os ramais de esgotos, através das expressões (234) ou (235).

Assim, nesta parte do trabalho, estudamos a capacidade de escoamento dos ramais de descarga e ramais de esgoto, apontando critérios para o dimensionamento dos mesmos.

Abordaremos, a seguir, a capacidade de escoamento dos tubos de queda, que recebem os efluentes provenientes de ramais de descarga ou de ramais de esgoto.

#### 7.4 Tubos de queda

Em edifícios com mais de um pavimento, os escoamentos dos efluentes gerados em cada pavimento, acima do pavimento térreo, devem ser conduzidos verticalmente através de tubulações denominadas tubos de queda. Para o estudo da capacidade dos tubos de queda devemos, inicialmente, caracterizar como o escoamento se processa, ao longo desta tubulação.

As inserções, no tubo de queda, provenientes de ramais ou de esgoto ocorrem através de conexões específicas. O tipo de ligação ao tubo de queda, bem como a relação entre os diâmetros do ramal e do tubo de queda, influenciam o comportamento do sistema, não tanto na capacidade de escoamento da tubulação, mas, principalmente, no que diz respeito às variações de pressão no interior deste tubo de queda.



Hunter [13] concluiu, em seu trabalho, que pressões hidrostáticas podem ser desenvolvidas nos tubos de queda somente quando da ocorrência de "afogamento" em algum ponto da tubulação.

Considerando um tubo de queda recebendo efluentes de ramais em um único ponto, a condição de "afogamento", admitida pelo pesquisador, ocorre quando excedida a capacidade da conexão. A componente vertical da velocidade de entrada no tubo de queda depende dos seguintes elementos:

- vazão proveniente do ramal;
- área da seção transversal do ramal;
- ângulo de entrada do ramal no tubo de queda (tipo de conexão).

Em seu trabalho, Hunter, considerou que a capacidade da conexão entre o ramal e o tubo de queda poderia representar a capacidade do próprio tubo de queda. Este pesquisador definiu a capacidade da conexão como sendo a vazão a partir da qual a água inicia uma ascensão no tubo de queda, acima da entrada do ramal, não havendo fluxo de água acima do ponto de inserção considerado. Dos ensaios realizados, utilizando conexões duplas e diâmetros dos ramais iguais ao diâmetro do tubo de queda, o pesquisador propôs a seguinte expressão:

$$Q_{tq} = k_{tq} d_{tq}^2 \dots \dots \dots (242)$$

sendo:

$$k_{tq} = 2,270 \times 10^{-3}, \text{ para junções duplas de } 45^\circ ;$$

$$k_{tq} = 1,135 \times 10^{-3}, \text{ para cruzetas sanitárias.}$$

onde:

$Q_{tq}$  - capacidade de escoamento do tubo de queda, em l/s;

$k_{tq}$  - coeficiente experimental para cálculo da capacidade dos tubos de queda;

$d_{tq}$  - diâmetro do tubo de queda, em mm.

A tabela 14 apresenta valores de  $Q_{tq}$ , obtidos a partir da expressão (242).

Diâmetro do Tubo de Queda - $d_{tq}$ (mm)	Capacidade do Tubo de Queda - $Q_{tq}$ (l/s)	
	Cruzeta Sanitária	Junção 45°
50	2,84	5,68
75	6,38	12,77
100	11,35	22,70
125	17,73	35,47
150	25,54	51,08
200	45,40	90,80

Tabela 14 - Valores de capacidade de tubos de queda, segundo Hunter.

O escoamento no tubo de queda foi caracterizado, pela primeira vez, por Hunter [14], verificando, o pesquisador, a ocorrência de

fluxo combinado de água e ar, na forma anular. Isto é, o escoamento de água no tubo de queda ocorre, aproximadamente, na forma de uma coroa circular, junto às paredes da tubulação, e o fluxo de ar se desenvolve no interior desta coroa circular. Quando a área da coroa circular aumenta, aumento este provocado por acréscimo na vazão, pode ocorrer a formação de um "plug" de água, devido à resistência por atrito do ar no interior desta coroa circular. O "plug" de água movimenta-se no sentido descendente desestabilizando-se devido ao aumento do diferencial de pressão, a jusante e a montante do mesmo. Hunter [14] verificou que a formação do "plug" acentua-se a partir de valores da área de secção da coroa circular em torno de 1/4 a 1/3 da área da secção transversal da tubulação.

A figura 38 ilustra, esquematicamente, o escoamento de água e ar em tubos de queda.

Podemos caracterizar o escoamento através dos seguintes parâmetros:

- $Q_w$  - vazão de água que escoar no tubo de queda;
- $Q_a$  - vazão de ar no tubo de queda;
- $S_w$  - área da secção transversal da coroa circular por onde escoar a água no tubo de queda;
- $S_a$  - área de secção transversal do círculo por onde ocorre o fluxo de ar no tubo de queda;
- $S_{tq}$  - área da secção transversal do tubo de queda;
- $t_o$  - taxa de ocupação de água durante o escoamento no tubo de queda.

sendo:

$$t_0 = \frac{S_c}{S_{tq}} \dots \dots \dots (243)$$

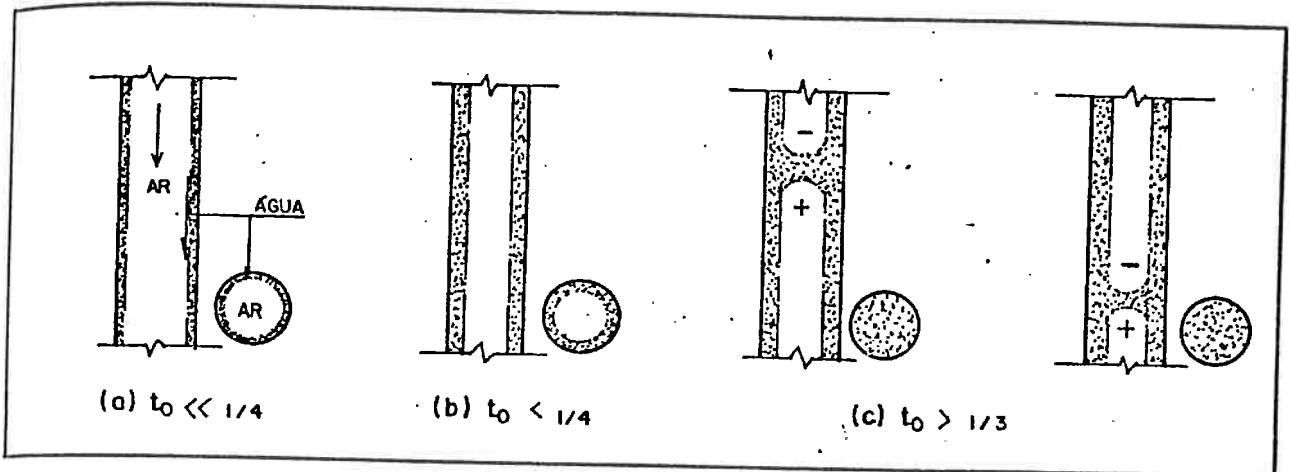


Figura 38 - escoamento em tubos de queda parcialmente cheios.

Considerando o tipo de escoamento anular, diversos pesquisadores procuraram estabelecer formulação matemática do fenômeno físico em questão. Após Hunter [14], Dawson e Kalinske [104], Wily e Eaton [105], Wise [106] e mais recentemente Chakrabarti [107], [108], [109], [110] estudaram o assunto relativo à capacidade de escoamento dos tubos de queda.

Para que possamos avaliar a capacidade dos tubos de queda, é importante que determinemos a velocidade com que o escoamento ocorre. Analisemos o equilíbrio de forças atuantes no escoamento, apresentadas, esquematicamente, na figura 39.

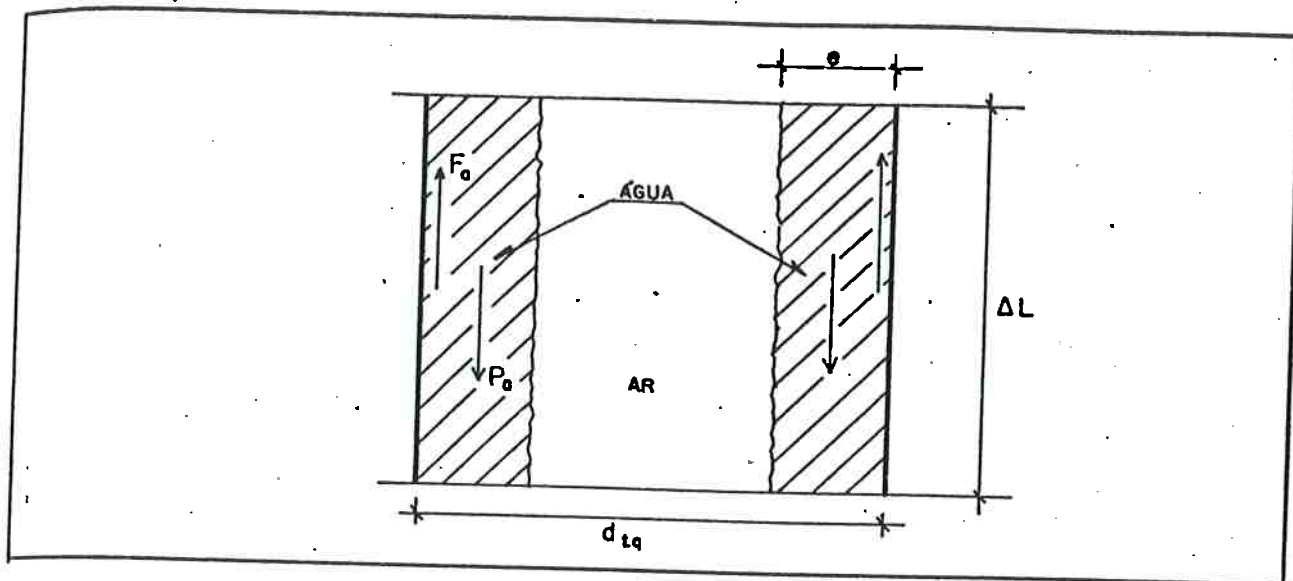


Figura 39 - Forças atuantes no escoamento em um tubo de queda.

Podemos escrever que a força resultante no escoamento pode ser expressa por:

$$F_R = P_a - F_a \dots \dots \dots (243)$$

onde:

$F_R$  - força resultante no escoamento em um tubo de queda;

$P_a$  - peso da massa de água da coroa circular;

$F_a$  - força de atrito desenvolvida junto às paredes do tubo de queda.

Temos que:

$$F_R = \Delta m_a \frac{dv}{dt} = \rho Q_a \Delta t \frac{dv}{dt} \dots \dots \dots (244)$$

$$P = \Delta m_a g = \rho Q_a \Delta t g \dots\dots\dots (245)$$

e

$$F_a = \tau_o \pi d_{ta} \Delta L \dots\dots\dots (246)$$

Consideremos, ainda, que:

$$\tau_o = \frac{f}{8} \rho v^2 \dots\dots\dots (247)$$

e

$$\Delta L = v \Delta t \dots\dots\dots (248)$$

Substituindo-se (248), e (247) em (246), (246), (245) e (244) em (243), e fazendo-se algumas transformações, temos:

$$Q_a \left( g - \frac{dv}{dt} \right) = \frac{\pi}{8} f d_{ta} v^3 \dots\dots\dots (249)$$

A partir de um determinado instante do escoamento, a velocidade permanece constante ( $dv/dt = 0$ ) e a este valor de velocidade ( $v_t$ ) denominamos velocidade terminal. Temos assim, na expressão (249), o seguinte:

$$v_t = \frac{8g Q_a}{\pi f d_{ta}} \dots\dots\dots (250)$$

Comparando-se as fórmulas de Darcy - Weisbach e de Manning [111], podemos escrever:

$$\frac{8g}{f} = \frac{1}{n} \frac{1}{R_H^{1/3}} \dots (251)$$

Substituindo-se  $8g/f$  de (251) em (250), vem:

$$v_t = \frac{1}{n} \frac{1}{R_H^{1/3}} \frac{Q_e}{d_{tq}} \dots (252)$$

Sabemos que:

$$Q_e = v_t S_e \dots (253)$$

Substituindo-se (253) em (252), temos:

$$v_t = \frac{1}{n} \frac{1}{R_H^{1/3}} \frac{S_e}{\pi d_{tq}} \dots (254)$$

mas,

$$R_H = \frac{S_e}{\pi d_{tq}} \dots (255)$$

Logo, substituindo-se (255) em (254), obtemos a expressão para o cálculo da velocidade terminal:

$$v_t = \frac{1}{n} \frac{1}{R_H^{2/3}} \dots (256)$$

onde:

$v_t$  - velocidade terminal do escoamento de água no tubo de queda;  
 $n$  - coeficiente de Manning;  
 $R_H$  - raio hidráulico.

Substituindo-se, ainda,  $v_t$  de (256),  $S_m$  de (243) e  $R_H$  de (255) em (256), temos:

$$Q_m = \frac{1}{n} \left( t_o \frac{\pi d_{tq}^2}{4} \right)^{2/3} t_o \frac{\pi d_{tq}^2}{4} \dots \dots \dots (257)$$

Simplificando-se a expressão (257), vem:

$$Q_m = \frac{0,312}{n} t_o^{5/3} d_{tq}^{8/3} \dots \dots \dots (258)$$

A velocidade terminal, da expressão (256), pode também ser expressa da seguinte forma:

$$v_t = \frac{1}{n} \left( \frac{S_m}{\pi d_{tq}} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (259)$$

Substituindo-se  $S_m$  de (253) em (259), e efetuando-se algumas transformações, podemos escrever:

$$v_t = \frac{0,633}{n} \left( \frac{Q_m}{d_{tq}} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (260)$$

Podemos verificar que a expressão (260) apresenta a velocidade terminal na forma usualmente encontrada na bibliografia sobre o assunto. Podemos reescrever a equação (260) sob a seguinte forma:



$$v_t = k_t \left( \frac{Q_0}{d_{t0}} \right)^{2/5} \dots \dots \dots (261)$$

onde:

$k_t$  - coeficiente da expressão para cálculo da velocidade terminal.

Wyly [105] obteve, analiticamente, para tubos de ferro fundido, valor de  $k_t$  igual a 12,8, em unidades inglesas, que corresponde, em unidades métricas, ao valor 10,1. Comparando-se valores de  $v_t$  calculados pela expressão proposta por Wyly com dados experimentais obtidos por Dawson e Kalinske [104], verifica-se um valor de  $k_t \approx 13$ , em unidades métricas, o que corresponde ao valor de  $n$ , na expressão (260) de  $n = 0,0063$ .

Viparelli [112] propôs em seu trabalho a seguinte expressão para o cálculo da velocidade terminal:

$$v_t = K \left( \frac{Q_0}{\pi d_{t0}} \right)^{3/5} \dots \dots \dots (262)$$

com valor de  $K$  igual a 158.

Cuomo [113], [114], [115] e Oliveira [116], em trabalhos mais recentes para vertedores do tipo tulipa, consolidaram o valor da rugosidade  $K$  igual a 158.

Utilizando-se o valor de K igual a 158 na expressão (262), e efetuando-se algumas transformações algébricas, resulta a seguinte expressão:

$$v_t = 13 \left( \frac{Q_m}{d_{ta}} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (263)$$

Podemos, então, verificar que os valores experimentais de Dawson e Kalinske são confirmados pela expressão (263), com coeficiente  $k_t$  igual a 13.

Sugerimos assim, neste trabalho, que o valor de  $k_t$  a ser considerado seja igual a 13, para a determinação da velocidade terminal do escoamento de água em tubos de queda. Conseqüentemente, o valor de n a ser admitido nas expressões (258) e (260) é de aproximadamente 0,0063.

As expressões (258) e (261) podem ser, então, escritas, para  $Q_m$  em l/s e  $d_{ta}$  em mm, nas seguintes formas:

$$Q_m \approx 49 \times 10^{-6} \frac{v_t^{3/2}}{d_{ta}^{3/2}} \dots \dots \dots (264)$$

e  $v_t$  em m/s por;

$$v_t \approx 13 \left( \frac{Q_m}{d_{ta}} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (265)$$

Utilizando-se a expressão (253), podemos determinar a espessura da coroa circular e, do escoamento anular no tubo de queda.

Temos assim:

$$Q_e = v_t d_{tq} e \dots\dots\dots (266)$$

onde:

e - espessura da coroa circular do escoamento anular no tubo de queda.

Substituindo-se a expressão (265) em (266), e efetuando-se algumas transformações, vem:

$$e = \frac{1}{13\pi} \frac{Q_e^{3/5}}{d_{tq}} \dots\dots\dots (267)$$

Transformando-se a expressão (267), para  $Q_e$  em l/s,  $d_{tq}$  e e em mm, temos:

$$e = 25 \frac{Q_e^{3/5}}{d_{tq}} \dots\dots\dots (268)$$

Assim, a partir das expressões (264), (265) e (268), podemos construir a tabela 15, com valores de  $Q_e$ ,  $v_t$  e e para alguns diâmetros comerciais, considerando valores usuais de  $t_o$ .

Assim, os valores apresentados na tabela 15, podem ser utilizados com relativa segurança, muito embora, para os diâmetros pequenos, fica a ressalva de que há necessidade de verificações experimentais.

O valor de taxa de ocupação  $t_o$ , usualmente adotado, ficando a favor da segurança é de 1/4, conforme [41], [99].

		Diâmetro do Tubo de Queda (mm)					
$t_o$	MAX	40	50	65	75	100	150
1/4	$Q_m$	0,91	1,65	3,32	4,86	10,47	30,88
	$v_t$	2,86	3,32	3,96	4,35	5,27	6,91
	$e$	2,58	3,23	4,20	4,84	6,46	9,66
7/24	$Q_m$	1,18	2,13	4,29	6,29	13,54	39,93
	$v_t$	3,17	3,68	4,38	4,82	5,84	7,66
	$e$	3,01	3,77	4,90	5,65	7,53	11,30
1/3	$Q_m$	1,47	2,66	5,36	7,86	16,92	49,88
	$v_t$	3,47	4,02	4,79	5,27	6,39	8,37
	$e$	3,44	4,30	5,60	6,46	8,61	12,90

( $Q_m$  em l/s) ( $v_t$  em m/s) ( $e$  em mm.)

Tabela 15 - Valores de capacidade de escoamento em tubos de queda, velocidades terminais e espessura da coroa circular para vários diâmetros comerciais e taxas de ocupação 1/4, 7/24 e 1/3.

Uma vez conhecida a velocidade terminal, podemos determinar o comprimento terminal, ou seja o comprimento a partir do qual se estabelece a velocidade de escoamento constante ( $v_t$ ), a partir da expressão desenvolvida por Wyly. Temos assim:

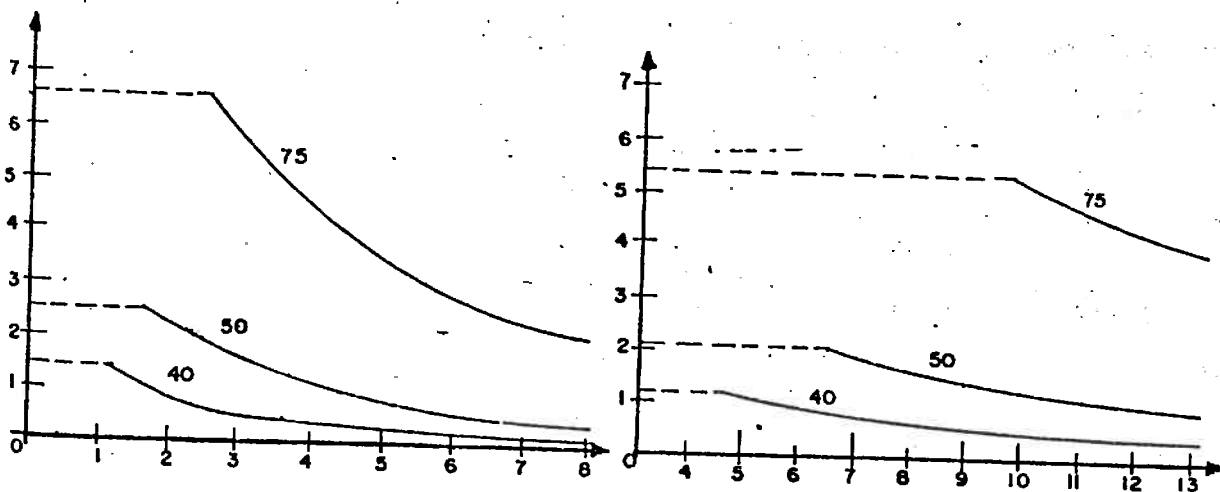
$$L_t \approx 0,17 v_t^2 \dots \dots \dots (269)$$

onde:

$L_t$  - comprimento terminal, em m para  $v_t$  em m/s.

A título de exemplo, o escoamento de uma bacia sanitária em um tubo de queda de 100mm atinge a velocidade terminal ( $v_t \approx 2,87$  m/s) em um comprimento terminal de aproximadamente 1,4m.

Cabe acrescentar que o escoamento anular no tubo de queda constitui eventual bloqueio do escoamento dos efluentes dos ramais ligados ao tubo de queda, podendo reduzir, momentaneamente, a capacidade de escoamento dos ramais. Wyly estudou o assunto, realizando experiências com tubos de queda de 75mm. Verificou o pesquisador que junções 45 comparadas com tês sanitários aumentam consideravelmente a capacidade de descarga dos ramais, considerando-se uma dada vazão ocorrendo no tubo de queda. Os gráficos 16 (a) e 16 (b), extraídos de Wyly [105], apresentam as capacidades máximas admitidas nos ramais em função da vazão no tubo de queda (75mm), para junção 45 e tê sanitário.



(a) TÊ SANITÁRIO

(b) JUNÇÃO 45°

EM ABSCISSAS - VAZÃO DO TUBO DE QUEDA, EM l/s  
EM ORDENADAS - VAZÃO DO RAMAL, EM l/s

Gráfico 16 - Capacidades máximas de ramais em função da vazão no tubo de queda.

Estudamos, assim, nesta parte do trabalho, a capacidade de escoamento dos tubos de queda, apontando critérios para o dimensionamento dos mesmos, sob o ponto de vista de condução de água.

Abordaremos, a seguir, a capacidade de escoamento dos subcoletores e coletores, que recebem os efluentes provenientes dos tubos de queda do sistema predial de esgotos sanitários.

### 7.5 Subcoletores e coletores

Estudaremos, nesta parte do trabalho, a capacidade das tubulações, de um sistema predial de coleta de esgotos sanitários, que recebem os efluentes provenientes de tubos de queda, designados por subcoletores.

Estudaremos, também, os trechos de tubulações horizontais que recebem os efluentes de subcoletores, designados coletores, e que conduzem estes efluentes ao destino final.

Um dos importantes pontos a serem considerados no projeto de um sistema predial de coleta de esgotos sanitários é a maneira pela qual se dá a transição entre o escoamento vertical e o horizontal.

Como vimos anteriormente o escoamento no tubo de queda ocorre de forma anular, com água ocupando uma coroa circular, junto às paredes da tubulação, e o ar ocupando o núcleo central.

vimos, também, que a velocidade com que a água, no tubo de queda, se aproxima do subcoletor é, em geral, a velocidade terminal, anteriormente definida.

A mudança de direção do fluxo, de vertical para horizontal, provoca, logicamente, uma mudança no regime de escoamento, tendo em vista as diferenças existentes entre os tipos de escoamento, em coroa circular (tubo de queda) e segmento circular (subcoletor), e entre as direções das velocidades. Assim, ao longo do escoamento no subcoletor, ocorre a mudança de regime, havendo uma diminuição na velocidade do escoamento, e conseqüente formação de ressalto hidráulico. A figura 40 apresenta esquematicamente esta transição de escoamento.

Outro aspecto importante, a ser considerado, é a influência do tipo de mudança de direção de escoamento nas flutuações de pressão pneumática na base do tubo de queda. As pressões pneumáticas que se desenvolvem, ao longo do tubo de queda, devem-se ao escoamento de ar arrastado pelo fluxo de água (ver figura 30 - p.153), e são, em geral, negativas. Havendo possibilidade de bloqueio do escoamento de ar, as pressões pneumáticas tornam-se positivas.

Um dos pontos onde este fato se apresenta com frequência é na transição tubo de queda - subcoletor. Ocorrendo brusca mudança de direção, maiores serão as possibilidades de bloqueio do fluxo de água e, conseqüentemente, da ocorrência de pressões pneumáticas positivas. Assim, com a utilização de conexões que permitam uma

suave transição tubo de queda - subcoletor serão diminuídas as possibilidades da ocorrência de pressões positivas, minimizando eventuais problemas de retorno de espuma [117], [118], pela inserção de ramis de descarga e de esgotos na região de pressões positivas.

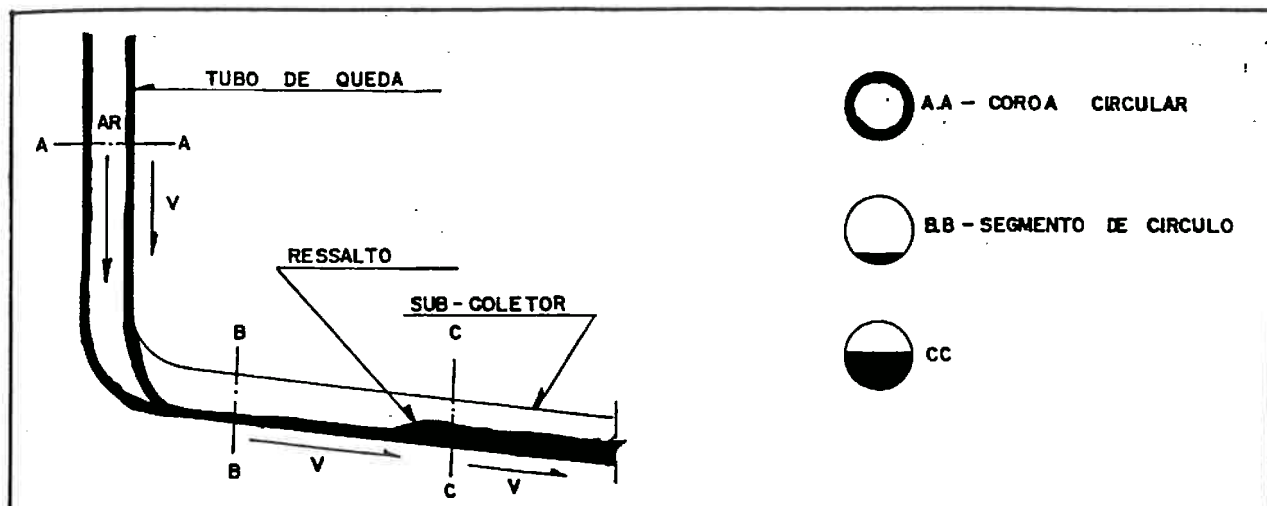


Figura 40 - Transição do escoamento na direção vertical (tubo de queda) para escoamento na direção horizontal (subcoletor).

O fluxo de ar pode ser também bloqueado pelo ressalto hidráulico, quando este preenche a seção transversal do subcoletor. A figura 41 ilustra o exposto.

A capacidade de escoamento de água dos subcoletores e coletores pode ser determinada, para fluxo em regime permanente, pela fórmula de Manning, conforme abordamos anteriormente no item 7.3. Assim a determinação do diâmetro do subcoletor ou coletor pode ser feita através da seguinte expressão:



$$d_c = \frac{n^{3/8}}{0,646} Q_e^{3/8} I^{-3/16} \dots \dots \dots (270)$$

para escoamento à secção plena, e

$$d_c = \frac{n^{3/8}}{0,498} Q_e^{3/8} I^{-3/16} \dots \dots \dots (271)$$

para escoamento à meia secção, onde:

$Q_e$  - vazão de entrada no subcoletor ou coletor;

$d_c$  - diâmetro do subcoletor ou coletor.

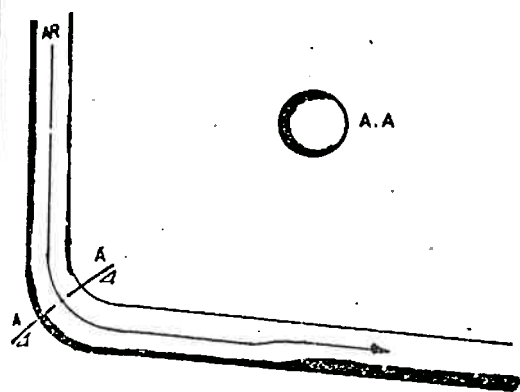
Podemos, também, utilizar a tabela 13 (pag. 249) para a determinação de diâmetros de subcoletores e coletores. No caso dos subcoletores, que recebem contribuição direta dos tubos de queda, podemos escrever:

$$q_c = Q_w \text{ (tubo de queda) } \dots \dots \dots (272)$$

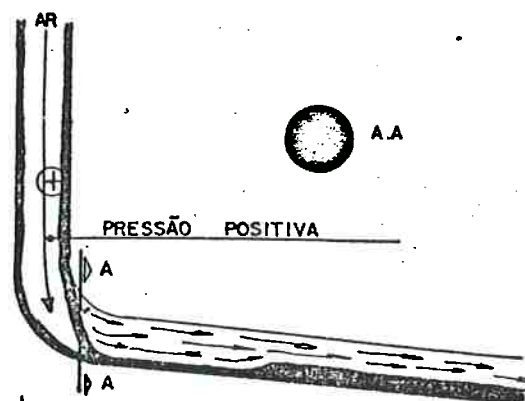
onde:

$q_c$  - vazão de projeto do subcoletor ou coletor;

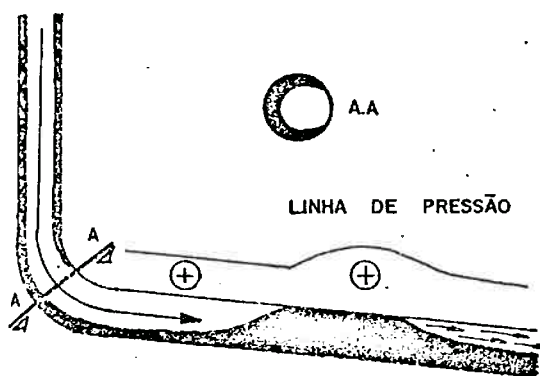
e no caso de coletor que recebe contribuição de alguns subcoletores, devemos determinar a vazão de projeto a partir das considerações de simultaneidade de uso de aparelhos sanitários, que abordamos anteriormente, no item 7.2, e não simplesmente somar vazões de projeto dos subcoletores.



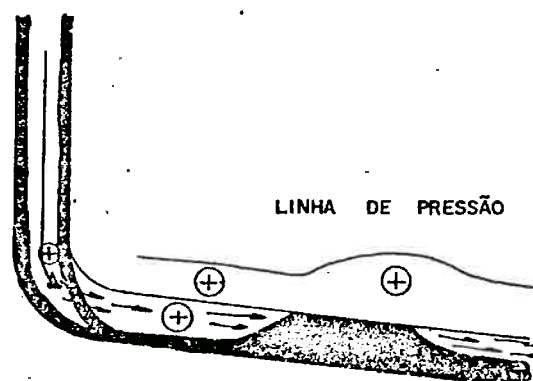
(a) fluxo de ar livre  
transição suave  
pequena vazão



(b) bloqueio do ar  
transição brusca  
pequena vazão



(c) bloqueio no ressalto  
transição suave  
grande vazão.



(d) bloqueio na base e no  
ressalto - transição  
brusca e grande vazão.

Figura 41 - Condições de transição na base de tubo de queda.

Wyly [119] verificou, em suas pesquisas realizadas no National Bureau of Standards, Estados Unidos, que os valores obtidos pela fórmula de Manning deveriam ser corrigidos, devido à ocorrência de restrições ao escoamento livre. O pesquisador propôs a seguinte fórmula empírica, para o cálculo do fator de correção da vazão de projeto:

$$f_r = 1 + e^{-0,21\beta} \dots\dots\dots (273)$$

sendo:

$$\beta = (I)^{1/4} \left( \frac{l_c}{d_c} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (274)$$

onde:

$f_r$  - fator de correção da vazão de projeto, do subcoletor ou coletor;

$I$  - declividade do subcoletor ou coletor;

$l_c$  - comprimento do subcoletor ou coletor.

Assim as vazões de projeto dos subcoletores e coletores devem ser corrigidas pela seguinte expressão:

$$Q_c = f_r q_c, \dots\dots\dots (275)$$

obtendo-se, conseqüentemente, a vazão de entrada a ser considerada no dimensionamento (expressões (270) ou (271)).

Dada a intermitência de utilização dos aparelhos sanitários, as características do escoamento no interior dos subcoletores e coletores são as de regime não permanente. Desta maneira, o dimensionamento dos subcoletores e coletores utilizando-se as expressões para regime permanente conduz a resultados a favor da segurança. Wyly [119] propôs a seguinte expressão para cálculo da

capacidade dos subcoletores e coletores (inicialmente vazios), para regime não permanente:

$$\frac{Q_{cnp}}{Q_{cp}} = 1 + \frac{K_{c1}}{t_c} \left( \frac{d_c f}{g} \right)^{1/2} I^{-1} \dots \dots \dots (276)$$

sendo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{d_c}{k_c} + 1,14 \dots \dots \dots (277)$$

$$K_{c1} = 10, \text{ para escoamento anular no tubo de queda } \dots \dots (278)$$

onde:

- $Q_{cnp}$  - capacidade do subcoletor ou coletor em regime não permanente;
- $Q_{cp}$  - capacidade do subcoletor ou coletor em regime permanente;
- $t_c$  - duração do escoamento;
- $k_c$  - altura média (rugosidade).

Considerando-se um coletor em PVC, com diâmetro de 100mm, podemos escrever:

$$k_c = 0,015\text{mm};$$

$$d_c = 100\text{mm},$$

Temos assim:

$$\frac{Q_{cnp}}{Q_{cp}} = 1 + 0,115 (t_c I)^{-1} \dots \dots \dots (279)$$

para uma declividade de 0,5% e uma duração de escoamento de 10s, a relação da expressão (279) é igual a 3,3, ou seja a capacidade do coletor de 100mm, em PVC, para escoamento em regime não permanente é 3,3 vezes maior do que a capacidade em regime permanente, para as condições acima.

Podemos observar que a expressão (276) proposta por Wyly conduz a resultados que efetivamente devem ser considerados no dimensionamento dos subcoletores e coletores, tendo em vista a pequena duração das descargas dos aparelhos sanitários usualmente instaladas e, em particular, a duração da descarga de bacias sanitárias.

Outro importante resultado, apresentado por Wyly [119], relaciona-se com a atenuação da vazão de água em coletores longos. A atenuação de vazão pode ser expressa por:

$$Q_{eL} = (1 - \delta) Q_{em} \dots \dots \dots (280)$$

sendo:

$$\delta = e^{-K_{e2}L}$$

$$K_{e2} = 53 I^{1/2} l_e^{-1} \dots \dots \dots (281)$$

onde:

$Q_{ca}$  - vazão a jusante do subcoletor ou coletor;

$Q_{cm}$  - vazão a montante do subcoletor ou coletor.

Consideremos, agora, que para o coletor do exemplo acima, de comprimento 20m, ocorra a descarga de uma bacia sanitária, com vazão de 2,3 l/s.

A vazão que chegaria no final do coletor admitido inicialmente vazio, seria aproximadamente igual a 0,40 l/s, o que representa uma atenuação de vazão da ordem de 80%, significando que a contribuição para o coletor público é bastante reduzida, apesar das altas vazões produzidas no interior da instalação.

A atenuação de vazão ao longo do escoamento no coletor, se por um lado diminui a vazão de contribuição a jusante por outro, aumenta a possibilidade da ocorrência de depósitos no interior do coletor. Este problema é agravado com a tendência da diminuição dos volumes de descarga dos aparelhos sanitários, em particular das bacias sanitárias, visando a economia do consumo de água.

Swaffield [120], [121], [122], [123], [124], [125], [126], [127] e [128], realizou pesquisas sobre o transporte de material sólido em coletores horizontais, pesquisas estas visando a redução do volume de descarga das bacias sanitárias inglesas.

O pesquisador verificou a existência de três zonas distintas no transporte de sólido em um subcoletor, como podemos observar na figura 42, esquematicamente. Na zona 1, próxima ao tubo de queda, ocorre uma rápida desaceleração do sólido, devido aos choques nas paredes da tubulação. Com o aumento da velocidade, no término da zona 1, devido à criação de uma lâmina de água a montante do sólido, inicia-se a zona 2, onde a velocidade do sólido vai diminuindo ao longo do subcoletor devido à atenuação da vazão, como vimos acima.

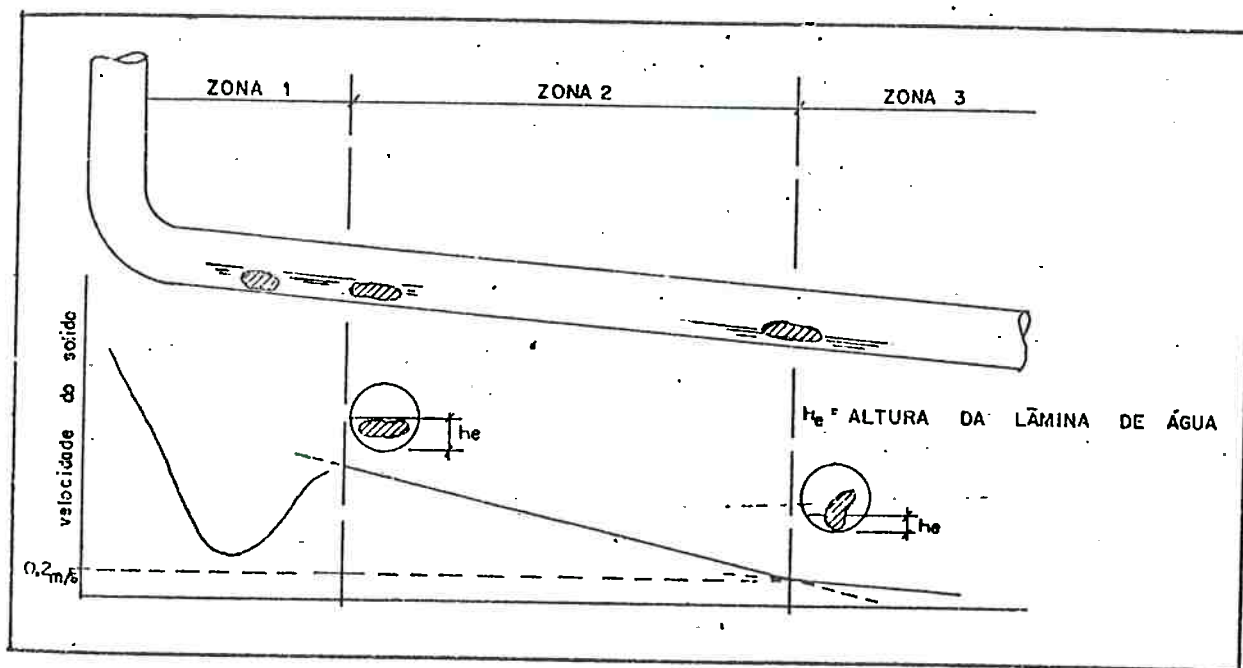


Figura 42 - Velocidade de sólido ao longo de um subcoletor.

Na zona 3, a velocidade do sólido tende rapidamente a zero, pois a lâmina de água atenuada não tem mais capacidade de aplicar esforço que provoque a movimentação do sólido.

Swaffield propôs, para a zona 2, a seguinte expressão para a determinação da velocidade do sólido:

$$v_s = \frac{K_1 - F}{K_2} - \frac{K_3 - F}{K_4} \sqrt{\frac{L_c}{I}} \dots \dots \dots (282)$$

onde:

$v_s$  - velocidade do sólido na distância  $L_c$ ;

$L_c$  - distância do tubo de queda até o ponto onde a velocidade do sólido é  $v_s$ ;

F - volume da descarga;

$K_1, K_2, K_3$  e  $K_4$  - coeficientes experimentais.

A partir da expressão acima o pesquisador desenvolveu ensaios, utilizando absorventes higiênicos de diversas dimensões, vários volumes de descarga, várias declividades e diferentes materiais de tubulação. Os resultados obtidos nestes ensaios podem ser encontrados na bibliografia citada.

Para o caso brasileiro, devemos realizar pesquisa sobre o assunto, no sentido de se procurar estabelecer os parâmetros de projeto, tendo em vista o critério de autolimpeza das tubulações.

Estudamos nesta parte do trabalho as condições de escoamento nos subcoletores e coletores horizontais. Como pudemos observar, não existem, ainda, critérios unificados para o dimensionamento destas tubulações, conseqüentemente, segundo nosso ponto de



vista, este assunto merece maior atenção dos pesquisadores da área, no estabelecimento de parâmetros de projeto que garantam o escoamento adequado dos efluentes e a autolimpeza das tubulações, simultaneamente.

Abordaremos, a seguir, o estudo das variações de pressão pneumática no interior dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

#### 7.6 - Variações das pressões pneumáticas - Depressões e Sobrepressões

As pressões pneumáticas, que se desenvolvem no interior das tubulações que constituem os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, ocorrem devido ao arraste de ar provocado pelo escoamento de água nos sistemas.

Na figura 30 (página 153) apresentamos, esquematicamente, as possíveis situações de ocorrência de oscilações de pressões pneumáticas, em torno da pressão atmosférica.

A ocorrência de pressões pneumáticas, como vimos, pode ser ocasionada pelo escoamento de água em tubulações horizontais e em tubos de queda. Assim, as pressões negativas, menores que a pressão atmosférica, podem ocorrer devido à:

- auto-sifonagem em fechos hidráulicos de aparelhos sanitários, como estudamos em 6.3.1;
- sifonagem induzida, como estudamos em 6.3.2, ocasionada por escoamento em ramais horizontais ou tubos de queda.

As pressões positivas, maiores que a pressão atmosférica, podem ocorrer devido à:

- sobrepressão, como estudamos em 6.3.2, ocasionada por escoamento em ramais horizontais ou tubos de queda.

Sob o ponto de vista da ocorrência de pressões pneumáticas, devemos comentar que a ação da auto-sifonagem, sobre os fechos hidricos, pode ser controlada através da adequada configuração geométrica dos aparelhos sanitários e ramais de descarga, como exposto em 6.3.1.

A ação da sobrepressão pode ser, também, controlada evitando-se a ligação de ramais de descarga ou de esgotos diretamente a trechos da tubulação que estejam sujeitos à ocorrência de pressão pneumática positiva.

Como vimos em 6.3.2 e em 7.5, as zonas de pressão positiva encontram-se, em geral, nos desvios do tubo de queda, sejam eles junto à base deste tubo ou em pavimentos superiores. A normalização inglesa [99] e a americana [66], bem como o BRE [129], [130], apresentam recomendações no sentido de se controlar a ação da sobrepressão sobre os fechos hídricos.

As magnitudes das pressões pneumáticas negativas pelo escoamento em ramais horizontais são em geral, pequenas. O escoamento em ramais horizontais que atendam "baterias" de aparelhos sanitários (usual em industrias e grandes escritórios) pode provocar depressões com magnitudes, significativas e seu controle pode ser

feito através do dimensionamento adequado destes ramais. Não nos ateremos a este assunto.

Estudaremos então, nesta parte do trabalho, a ocorrência de pressões negativas pelo escoamento anular de água, nos tubos de queda.

O escoamento anular de água, que ocorre no tubo de queda, provoca o arraste de ar pelo núcleo do anel. Considerando-se que no topo do tubo de queda o ar se encontra à pressão atmosférica, a vazão de ar no interior deste tubo, provoca a perda de carga de ar por atrito nas paredes da tubulação e nas reduções de secção causadas pelos bloqueios parciais, do núcleo, devido ao fluxo proveniente de ramais ligados ao tubo de queda.

A figura 43 apresenta, esquematicamente, um diagrama de pressões pneumáticas em um tubo de queda.

Passemos, a seguir, à determinação das pressões pneumáticas negativas (depressões) que ocorrem no interior de um tubo de queda.

Primeiramente devemos calcular o valor da vazão de ar que escoar no núcleo do escoamento de água. Lillywhite e Wise [131], do BRE - Inglaterra, propuseram a seguinte expressão para o estabelecimento da vazão de ar:

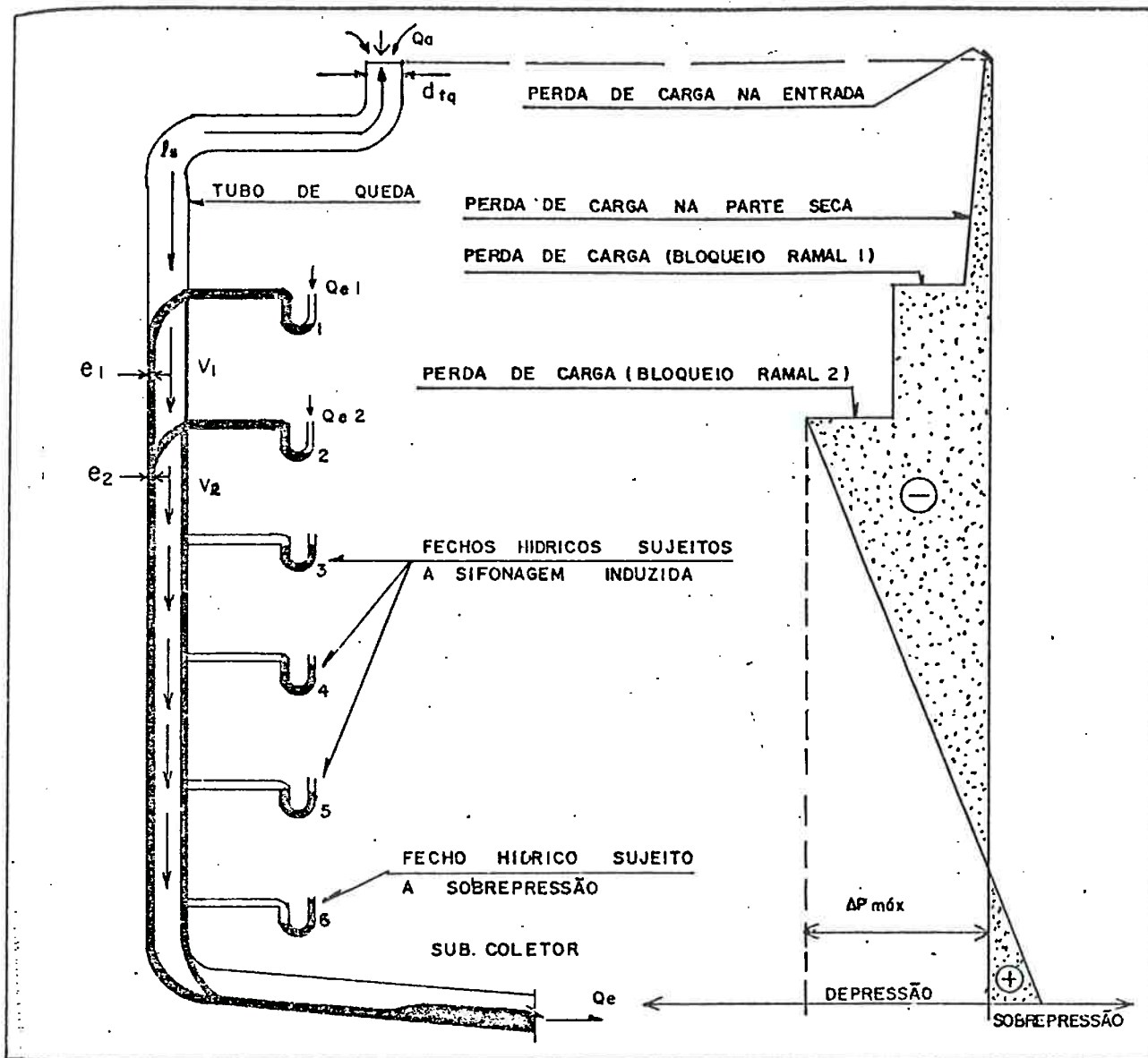


Figura 43 - Diagrama de pressões pneumáticas em tubo de queda.

$$Q_a = 1,5 \left( \frac{\pi d_{tq}^2}{4} v_t - Q_e \right) \dots \dots \dots (283)$$

onde:

$Q_a$  - vazão de ar que escoo pelo núcleo do tubo de queda.

substituindo-se o valor de  $v_t$  da expressão (263) em (283), e fazendo-se algumas transformações, temos:

$$Q_a = 1,5 (0,01021 d_{tq}^{9/5} Q_w^{2/5} - Q_w) \dots \dots \dots (284)$$

sendo  $Q_a$  e  $Q_w$  em l/s e  $d_{tq}$  em mm. Podemos, ainda, escrever a expressão (284) da seguinte forma:

$$Q_a = K Q_w^{2/5} - 1,5 Q_w \dots \dots \dots (285)$$

sendo,

$K = 8,0$ , para  $d_{tq} = 50\text{mm}$ ;

$K = 15,3$ , para  $d_{tq} = 75\text{mm}$ ;

$K = 24,3$ , para  $d_{tq} = 100\text{mm}$ ;

$K = 46,5$ , para  $d_{tq} = 150\text{mm}$ .

Considerando-se o tubo de queda da figura 43, calculemos a depressão máxima que ocorre. Temos assim:

$$\Delta p_{max} = \Delta p_m + \Delta p_w + \Delta p_r \dots \dots \dots (286)$$

onde:

$\Delta p_{max}$  - depressão máxima que ocorre no tubo de queda;

$\Delta p_w$  - perda de pressão de ar que ocorre na entrada do ar no tubo de queda;

$\Delta p_r$  - perda de pressão de ar que ocorre na parte seca do tubo de queda;

$\Delta p_r$  - perda de pressão de ar que ocorre devido ao bloqueio parcial do tubo de queda provocado pelas descargas dos ramais

Analisemos cada uma das parcelas que constituem o segundo membro da expressão (286).

A perda de pressão de ar na entrada de ar no tubo de queda pode ser expressa por:

$$\Delta p_e = k_e \rho_{ar} \frac{v_w^2}{2} \dots \dots \dots (287)$$

onde:

$k_e$  - coeficiente de perda de pressão da entrada de ar no tubo de queda;

$v_w$  - velocidade do ar na parte seca do tubo de queda;

$\rho_{ar}$  - massa específica do ar.

Considerando-se:

$$k_e = 0,5, \dots \dots \dots (288)$$

$$v_w = \frac{4 Q_a}{\pi d_{tq}^2}, \dots \dots \dots (289)$$

$$\rho_{ar} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots (290)$$

podemos reescrever a expressão (287) da seguinte forma:

$$\Delta p_m = 4,9 \times 10^{-4} \frac{Q_a^2}{d_{tq}^5} \dots\dots\dots (291)$$

sendo  $\Delta p_m$  em Pa ( $\text{N/m}^2$ ),  $Q_a$  em  $\text{l/s}$  e  $d_{tq}$  em mm.

A perda de pressão de ar na parte seca do tubo de queda pode ser expressa por:

$$\Delta p_m = f \frac{l_m \rho_{ar} v_m^2}{d_{tq}} + \sum k_m \frac{\rho_{ar} v_m^2}{2} \dots\dots\dots (292)$$

ou

$$\Delta p_m = \frac{\rho_{ar} v_m^2}{2} \left( f \frac{l_m}{d_{tq}} + \sum k_m \right) \dots\dots\dots (293)$$

Considerando-se as expressões (288), (289) e (290),  $\theta$  ainda que:

$$f \approx 0,035 \dots\dots\dots (294)$$

e

$$\sum k_m = 0,2 \text{ n.e.} \dots\dots\dots (295)$$

onde:

$n_c$  - número de curvas na parte seca do tubo de queda;

$l_m$  - comprimento da parte seca do tubo de queda.

Podemos reescrever a expressão (293), da seguinte forma:

$$\Delta p_m = 9,8 \times 10^5 \frac{Q_m^2}{d_{tq}^4} \left( 35 \frac{l_m}{d_{tq}} + 0,2 n_c \right) \dots \dots \dots (296)$$

sendo  $\Delta p_m$  em Pa ( $N/m^2$ ),  $Q_m$  em  $l^3/s$ ,  $d_{tq}$  em mm e  $l_m$  em m.

A perda de pressão de ar devido aos bloqueios provocados pelas descargas dos ramais é igual a:

$$\Delta p_r = \Delta p_{r1} + \Delta p_{r2} \dots \dots \dots (297)$$

onde:

$\Delta p_{r1}$  - perda de pressão de ar no ramal 1;

$\Delta p_{r2}$  - perda de pressão de ar no ramal 2.

Podemos escrever que:

$$\Delta p_{r1} = k_1 \rho_a \frac{v_1^2}{2} \dots \dots \dots (298)$$



onde:

$k_1$  - coeficiente de perda de pressão do ramal 1;

$v_1$  - velocidade do ar no trecho do tubo de queda entre o ramal 1 e o ramal 2.

Sabemos que:

$$v_1 = \frac{4 Q_m}{\pi (d_{tq} - 2 e_1)^2} \dots \dots \dots (299)$$

onde:

$e_1$  - espessura da coroa circular no trecho do tubo de queda entre o ramal 1 e o ramal 2.

O valor de  $e_1$  pode ser calculado pela expressão (266), que aqui reproduzimos:

$$e_1 = 25 \left( \frac{Q_{m1}^{3/5}}{d_{tq}} \right) \dots \dots \dots (300)$$

onde:

$Q_{m1}$  - vazão de água do ramal 1.

Obtendo-se o valor  $e_1$ , em mm, e substituindo-o na expressão (299), apresentada a seguir com transformações de unidades, temos:

$$v_1 = \frac{4000}{\pi} \frac{Q_{a1}}{(d_{tq} - 2 e_1)^2} \dots \dots \dots (301)$$

sendo  $Q_{a1}$  em l/s,  $d_{tq}$  e  $e_1$  em mm.

Substituindo-se a expressão (301) em (298), e fazendo-se algumas substituições, vem:

$$\Delta p_{r1} = 9,8 \times 10^5 k_1 \frac{Q_{a1}^2}{(d_{tq} - 2 e_1)^4} \dots \dots \dots (302)$$

Analogamente, podemos escrever para a perda de pressão de ar  $p_{r2}$ :

$$p_{r2} = 9,8 \times 10^5 k_2 \frac{Q_{a2}^2}{(d_{tq} - 2 e_2)^4} \dots \dots \dots (303)$$

sendo:

$$e_2 = 25 \left( \frac{Q_{a1} + Q_{a2}}{d_{tq}} \right) \dots \dots \dots (304)$$

onde:

$k_2$  - coeficiente de perda de pressão do ramal 2;

$e_2$  - espessura da coroa circular no trecho do tubo de queda entre o ramal 2 e o ramal 3;

$Q_{a2}$  - vazão de água do ramal 2.

Os valores dos coeficientes  $k_1$  e  $k_2$  dependem dos ângulos da conexão entre os ramais e o tubo de queda e as relações de diâmetros entre os ramais e o tubo de queda. Wise [106] propôs os seguintes valores para os coeficientes  $k_1$  e  $k_2$ :

- $k_1, k_2 = 2$  para  $d_r = 32\text{mm}$  e  $Q_{r1}, Q_{r2} < 1,0$  l/s;
- $k_1, k_2 = 3$  para  $d_r = 40\text{mm}$  e  $Q_{r1}, Q_{r2} < 1,0$  l/s;
- $k_1, k_2 = 7,5$  para  $d_r = 40\text{mm}$  e  $Q_{r1}, Q_{r2} = 1,35$  l/s;
- $k_1, k_2 = 9$  para bacia sanitária com entrada suave.

Na falta de dados nacionais, utilizaremos os valores propostos por Wise, muito embora, julgamos de real importância a determinação experimental de valores de  $k_1$  e  $k_2$ .

Assim, a partir das expressões (286), (291), (296), (302) e (303), podemos estabelecer o valor de  $\Delta p_{\max}$ , através de algumas transformações algébricas. Temos assim:

$$\Delta p_{\max} = K_{tq} Q_a^2 \dots \dots \dots (305)$$

sendo:

$$K_{tq} = 4,9 \times 10^5 \left[ \frac{1}{d_{tq}^4} (1 + 70 \frac{l_a}{d_{tq}} + 0,4 n_a) + 2,0 \sum \frac{k_1}{(d_{tq} - 2 e_1)^4} \right] \dots \dots \dots (306)$$

onde:

$K_{tq}$  - coeficiente de máxima perda de pressão de ar no tubo de queda.

Desta forma, podemos calcular a depressão máxima  $\Delta p_{max}$  a partir das expressões (305) e (306).

A título de ilustração, utilizemos o exemplo do item 7.2, com os seguintes dados:

$$Q_m = 3,40 \text{ l/s} \text{ com } Q_{m1} = 1,1 \text{ l/s} \text{ e } Q_{m2} = 2,3 \text{ l/s};$$

$$d_{tq} = 100\text{mm};$$

$$l_m = 4\text{m};$$

$$n_c = 2;$$

$$k_1 = 3 \text{ e } k_2 = 9.$$

Calculando-se a vazão de ar pela expressão (285) e os valores de  $e_1$  e  $e_2$  pelas expressões (300) e (304), temos:

$$Q_m = 34,6 \text{ l/s};$$

$$e_1 = 1,67\text{mm};$$

$$e_2 = 3,29\text{mm}.$$

Aplicando-se as expressões (306) e (305), vem:

$$K_{eq} = 0,1720;$$

$$\Delta p_{max} \approx 206 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}.$$

Neste capítulo, procuramos estudar as capacidades de escoamento dos elementos que constituem os sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, considerando as vazões de projeto estabelecidas através das vazões dos aparelhos sanitários e as respectivas probabilidades de utilização. Estudamos, também, a ocorrência das variações de pressão pneumática no interior do sistema.

No capítulo que se segue, procuraremos interrelacionar as diversas variáveis intervenientes no comportamento dos sistemas, e discutidas ao longo deste trabalho, através do estabelecimento de um modelo que permita a avaliação da necessidade de ventilação secundária em sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

## 8. MODELO PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DETERMINANTES DA NECESSIDADE DE VENTILAÇÃO SECUNDARIA EM SISTEMAS PREDIAIS DE COLETA DE ESGOTOS SANITARIOS.

### 8.1 - Conceituação do modelo

Nesta parte do trabalho procuraremos, com base nos conceitos apresentados nos capítulos anteriores, estabelecer um modelo que represente o comportamento dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, e que permita a avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária.

O que caracteriza o modelo em questão é o conceito de flexibilidade nas decisões, que este modelo, implicitamente, carrega. Em outras palavras, o projetista, utilizando o modelo, tem a possibilidade de trabalhar com as variáveis intervenientes de modo a adaptar o sistema, objeto do projeto, às condições particulares de cada edificação, não se prendendo a padrões pré-estabelecidos em normas de caráter prescritivo.

Como vimos no capítulo 5, existe uma tendência à designação de tipos de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, e a partir da escolha de um destes tipos, o projetista dá início ao projeto, propriamente dito, adequando-se às condições e restrições previamente estabelecidas para o tipo de sistema adotado.

O modelo apresentado surge como consequência natural da aplicação dos conceitos de desempenho, abordados no capítulo 4.

Assim, no modelo consideramos, como hipótese natural, que um sistema predial de coleta de esgotos sanitários tem por finalidade, fundamental, a condução dos efluentes, gerados nos aparelhos sanitários, a destino adequado. Para tanto, um sistema deve ser concebido e dimensionado de tal modo que:

- as tubulações que constituem o sistema devem ter capacidade de conduzir as vazões máximas prováveis, produzidas nos aparelhos sanitários, vazões estas, estabelecidas a partir de um nível de confiabilidade considerado adequado.

No capítulo 7, deste trabalho, apresentamos os conceitos básicos que devem nortear os procedimentos de dimensionamento das tubulações dos sistemas em tela, sob o ponto de vista da capacidade de condução dos efluentes.

No modelo, ora proposto, consideramos, também, como hipótese, que em um sistema predial de coleta de esgotos sanitários, não deve ocorrer retorno de odores do interior das tubulações para os ambientes sanitários. Para tanto, um sistema deve ser concebido e dimensionado de tal modo que:

- as ações a que estão sujeitos os fechos hidráulicos, ações estas dependentes ou independentes da ocorrência de escoamento no interior do sistema, devem ser controladas

através de procedimentos técnica e economicamente adequados.

No capítulo 6, deste trabalho, apresentamos as ações a que podem estar sujeitos os fechos hidricos, procurando estabelecer parâmetros segundo os quais a concepção e o dimensionamento dos sistemas em questão devem se baser. Também, em 7.6, estudamos a ocorrência de oscilações de pressão pneumática em torno da pressão atmosférica, no interior do sistema.

Assim, o modelo proposto, neste capítulo, foi formulado ao longo de todo o trabalho, considerando-se como objetivo principal estabelecer parâmetros que permitam ao projetista avaliar o comportamento de sistemas, sem ventilação secundária (colunas e ramais de ventilação), através da identificação das condições determinantes da utilização de ventilação secundária.

Desta forma, o emprego de tubulações especificamente destinadas à ventilação pode ser definido como consequência natural da avaliação técnica e econômica efetuada pelo projetista. Não é escopo deste trabalho estudar a metodologia de projeto de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários quando a necessidade do emprego de ventilação secundária for apontada através da aplicação do modelo, nos termos de sua proposição.

Na aplicação do modelo presume-se, inicialmente, que um sistema esteja definido em termos da capacidade de escoamento dos efluentes e características dos sifões e que exista a entrada de



ar no sistema, através do prolongamento do tubo de queda até a atmosfera. Este trecho é constituído por tubulação seca sendo denominado tubo ventilador primário.

No item que se segue, apresentaremos o desenvolvimento do modelo propriamente dito.

## 8.2 - Desenvolvimento do modelo

Consideremos um sistema predial de coleta de esgotos sanitários constituído de:

- aparelhos sanitários protegidos por fechos hidricos;
- ramais de descarga que recebem os efluentes dos aparelhos sanitários e ramais de esgoto que conduzem os efluentes dos ramais de descarga;
- tubo de queda que recebe os efluentes de ramais de descarga ou de ramais de esgoto;
- tubo ventilador primário, ligado à atmosfera.

A figura 43 apresenta esquematicamente o sistema considerado.

Consideremos, também, como conhecidos os tipos de sifões utilizados e suas respectivas características.

Consideremos, também, como conhecidas as condições ambientais dos ambientes sanitários e as condições climáticas regionais.

O modelo apresentado baseia-se na compatibilização das perdas de altura hídrica admissíveis para cada tipo de sifão utilizado no sistema e as perdas de altura hídrica resultantes das ações a que podem estar sujeitos estes sifões.

Assim, a expressão geral do modelo é a seguinte:

$$\Delta H_{a,i} \geq \Delta H_{r,i} \dots\dots\dots (307)$$

onde:

$\Delta H_{a,i}$  - perda de altura hídrica admissível para o sifão i, em mm;

$\Delta H_{r,i}$  - perda de altura hídrica resultante das ações sobre o sifão i, em mm.

A perda de altura hídrica admissível para o sifão do tipo i pode ser expressa por:

$$\Delta H_{a,i} \leq H_{0,i} - h_{e,i} \dots\dots\dots (308)$$

onde:

$H_{0,i}$  - altura hídrica inicial do fecho hídrico do sifão i, em mm.

$h_{e,i}$  - altura de água perdida no fecho hídrico do sifão i, por evaporação, em mm.

A partir das expressões (26) e (24), podemos escrever:

$$h_{e,i} = i_{e,i} \Delta t_e \dots\dots\dots (309)$$

e

$$i_{e,i} = c_{e,i} \pi (1 - \gamma) \dots\dots\dots (310)$$

onde:

$i_{e,i}$  = intensidade de evaporação do sifão  $i$ , em mm/semana;

$\Delta t_e$  - duração máxima de exposição à evaporação dos fechos hídricos instalados no ambiente;

$c_{e,i}$  - coeficiente de evaporação do sifão  $i$ , em  $\text{mm.m}^2/\text{N semana}$ ;

$\pi$  - pressão de vapor de água do ar saturado na temperatura ambiente, em  $\text{Pa (N/m}^2)$ ;

$\gamma$  - umidade relativa do ar ambiente.

Substituindo-se (310) em (309), e o resultado em (308), estabelecemos a expressão geral para a determinação da altura hídrica admissível para o sifão  $i$ . Temos assim:

$$\Delta H_{a,i} \leq H_{o,i} - c_{e,i} \pi (1 - \gamma) \Delta t_e \dots\dots\dots (311)$$

A partir do estabelecimento dos valores de  $\Delta H_{a,i}$  para as perdas de altura hídrica admissíveis, dos diversos sifões, podemos estabelecer os limites de pressão negativa (depressões) e positiva (sobrepessões).

Utilizando-se a expressão (101), para depressões, podemos escrever:

$$\Delta P_{a,dp,i} = 9,81 (1 + r_{v,v,i}) \Delta H_{a,i} \text{ para } \Delta H_{a,i} < \Delta H_{c,i} \dots (312)$$

$$\Delta P_{a,dp,i} = 9,81 (1 + r_{v,v,i}) \Delta H_{c,i} \text{ para } \Delta H_{a,i} \geq \Delta H_{c,i} \dots (313)$$

sendo:

$$\Delta H_{c,i} = 0,102 \frac{\gamma H_{0,i}}{1 + r_{v,v,i}} \dots (314)$$

onde:

- $\Delta P_{a,dp,i}$  - depressão máxima admissível no sifão i, em Pa (N/m<sup>2</sup>);
- $r_{v,v,i}$  - relação entre os volumes da câmara de saída e da câmara de entrada do sifão i;

Utilizando-se as expressões (120), (133), (144) e (145), para sobrepessões, podemos escrever:

- para  $r_{v,v,i} < 1$  :

$$\Delta P_{a,sp,i} = \min \left[ \frac{(1 + r_{v,v,i})^2 \gamma \Delta H_{a,i}}{r_{v,v,i}}, \gamma H_{0,i} \right] \dots (315)$$

- para  $r_{v,v,i} \geq 1$

$$\Delta p_{a,dp,i} = \min \left[ \frac{(1 + r_{a,dp,i})^2 \gamma \Delta H_{a,i}}{r_{a,dp,i}}, r_{a,dp,i} \gamma H_{o,i} \right] \dots (316)$$

onde:

$\Delta p_{a,dp,i}$  - sobrepressão máxima admissível no sifão i, em Pa (N/m<sup>2</sup>).

Assim, conhecendo-se as características de todos os sifões da instalação e as condições ambientais, podemos determinar os valores de perdas de altura hídrica, depressões e sobrepressões admissíveis para todos os tipos de sifões.

As perdas de altura hídrica admissíveis ( $\Delta H_{a,i}$ ) dos sifões servirão de limite para análise do efeito da ação da auto-sifonagem, para cada sifão instalado individualmente.

No caso das depressões admissíveis ( $\Delta p_{a,dp,i}$ ) nos sifões, devemos seleccionar a mínima depressão admissível do conjunto de sifões, tendo em vista que todos os tipos de sifões encontram-se sujeitos igualmente às mesmas ações (sifonagem induzida, tiragem térmica e ação do vento, e variações das pressões ambientais). Assim, podemos escrever:

$$\Delta p_{a,dp} = \min [\Delta p_{a,dp,1}, \Delta p_{a,dp,2}, \dots, \Delta p_{a,dp,n}] \dots (317)$$

Da mesma maneira, no tocante às sobrepressões admissíveis ( $\Delta p_{a,sp,i}$ ) nos sifões, também devemos selecionar a mínima sobrepressão admissível. Desta forma, temos:

$$\Delta p_{a,sp} = \min [\Delta p_{a,sp,1}, \Delta p_{a,sp,2}, \dots, \Delta p_{a,sp,n}] \dots (318)$$

Assim, para efeitos de aplicação do modelo, determinamos as perdas de altura hídrica admissíveis, ( $\Delta H_{a,i}$ ) para todos os tipos de sifões, a depressão máxima admissível ( $\Delta p_{a,sp}$ ) na instalação e a sobrepressão máxima admissível ( $\Delta p_{a,sp}$ ) no sistema.

Procuramos, agora, analisar as perdas de altura hídrica resultantes por auto-sifonagem e as pressões pneumáticas solicitantes, devido às ações mencionadas anteriormente.

A perda de altura hídrica resultante máxima por auto-sifonagem, para cada tipo de sifão, pode ser expressa por:

$$\Delta H_{r,a,i} = \max [\Delta H_{r,a,i,1}; \dots; \Delta H_{r,a,i,m}] \dots (319)$$

onde:

$\Delta H_{r,a,i}$  - perda de altura hídrica resultante máxima do sifão tipo i, por auto-sifonagem;

$\Delta H_{r,a,i,m}$  - perda de altura hídrica resultante do sifão tipo i, na montagem m, por auto-sifonagem.

As perdas de altura hídrica, resultantes da ação de auto-sifonagem, podem ser avaliadas a partir dos conceitos estudados em 6.3.1.

Assim, a partir da expressão (307), para que não haja necessidade de ventilação secundária, para proteção contra a auto-sifonagem, a seguinte condição deve ser observada:

$$\Delta H_{r,amb,i} \leq \Delta H_{a,i} \dots\dots\dots (320)$$

para qualquer tipo de sifão, com  $i = 1, 2, \dots, n$ ,

onde:

$n$  - número de tipos diferentes de sifão.

A depressão máxima resultante da ação combinada de sifonagem induzida, de tiragem térmica e ação do vento, e das variações da pressão ambiental pode ser expressa por:

$$\Delta p_{r,dp} = \max [|\Delta p_{r,si}|, |\Delta p_{r,tv}|] + I_1 |\Delta p_{r,amb}| \dots\dots\dots (321)$$

sendo:

$I_1 = 0$ , para ambiente em pressão negativa (exaustão);

$I_1 = 1$ , para ambiente em pressão positiva (ventilação ou ar condicionado).

$\Delta p_{r,dp}$  - depressão máxima resultante dos efeitos de sifonagem induzida, de tiragem térmica e ação do vento e das variações da pressão ambiental;

$\Delta p_{r,ei}$  - depressão máxima resultante do efeito de sifonagem induzida;

$\Delta p_{r,te}$  - depressão resultante do efeito de tiragem térmica e ação do vento;

$\Delta p_{r,amb}$  - depressão máxima resultante do efeito das variações da pressão ambiental.

As depressões máximas resultantes  $\Delta p_{r,ei}$ ,  $\Delta p_{r,te}$  e  $\Delta p_{r,amb}$  podem ser avaliadas a partir do exposto nos itens 7.6, 6.2.4 e 6.2.1.

Assim, a partir da expressão (307), para que não haja necessidade de ventilação secundária, para proteção contra a ocorrência de depressões, a seguinte condição deve ser observada:

$$\Delta p_{r,sp} < \Delta p_{a,sp} \dots \dots \dots (322)$$

A sobrepressão máxima resultante da ação combinada de sobrepressão e das variações da pressão ambiental pode ser expressa por:

$$\Delta p_{r,sp} = \Delta p_{r,sp} + I_2 |\Delta p_{r,amb}| \dots \dots \dots (323)$$

sendo:

$I_2 = 0$ , para ambiente em pressão positiva (ventilação e ar condicionado);



$I_z = 1$ , para ambiente em pressão negativa (exaustão).

onde:

$\Delta P_{r,sp}$  - sobrepressão máxima resultante dos efeitos de sobrepressão e das variações de pressão ambiental.

$\Delta P_{r,ss}$  - sobrepressão máxima resultante dos efeitos de sobrepressão no sistema.

As sobrepressões máximas resultantes  $\Delta P_{r,ss}$  têm sido controladas através de traçado geométrico do sistema, procurando-se evitar ligações de ramais em zonas de ocorrência de pressões positivas. Isto se deve ao fato da não existência de dados experimentais consistentes.

Assim, a partir da expressão (307), para que não haja necessidade de ventilação secundária, para a proteção contra a ocorrência de sobrepressões, a seguinte condição deve ser observada:

$$\Delta P_{r,sp} \leq \Delta P_{a,sp} \dots\dots\dots (324)$$

Formulamos, então, um modelo que possibilita a avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária, ou de alteração de alguns parâmetros de projeto.

O modelo apresentado é de caráter geral, pois as condições a serem observadas devem ser atendidas por qualquer sistema predial de coleta de esgotos sanitários, com ou sem ventilação secundária.

Assim, o modelo permite ao projetista a compreensão da interrelação entre os parâmetros intervenientes no comportamento do sistema, podendo identificar aqueles mais críticos para a eventual alteração dos parâmetros de projeto. Desta forma, o projetista pode avaliar técnica e economicamente alternativas viáveis para implantação de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários.

Aplicaremos, a seguir, o modelo proposto em um edifício habitacional com cinco pavimentos.

### 8.3 - Aplicação do modelo a edifício residencial com cinco pavimentos

Nesta parte do trabalho, procuraremos aplicar o modelo formulado para a avaliação da necessidade de utilização de ventilação secundária em um edifício residencial, com cinco pavimentos tipo (térreo + quatro).

O edifício escolhido para aplicação do modelo pertence ao Conjunto Habitacional Tiradentes (COHAB - Santa Etelvina II), localizado na Estrada do Barro Branco, São Paulo - SP. Especificamente, utilizamos o edifício 72, da rua 9B, bloco C, e apartamentos com final 2. Nos trabalhos experimentais, levantamos dados relativos aos aparelhos sanitários que contribuem para o tubo de queda servindo os apartamentos 12 C, 22 C, 32 C, 42 C e 52 C.

A configuração da instalação predial de esgotos sanitários, projetada, sem sistema de ventilação secundária, apresentada na figura 44, atende aos seguintes aparelhos sanitários, por pavimento, com o mesmo tubo de queda:

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

O material utilizado nas conexões e tubulações do sistema foi PVC, branco, linha sanitária.

O tubo de queda recebe a contribuição dos ramais horizontais dos quatro últimos pavimentos, sendo que o primeiro pavimento (térreo) tem solução independente, diretamente ligado à caixa de inspeção, visando a eliminação da conexão no tubo de queda em zona de ocorrência de sobrepressão.

As características dos sifões utilizados na instalação são as seguintes:

1. sifão incorporado na bacia sanitária -  
 $H_{o,1} = 55\text{mm}$ ,  $r_{sif,1} = 0,95$ ;
2. sifão tipo garrafa -  $d_s = 40\text{mm}$   
 $H_{o,2} = 37\text{mm}$ ,  $r_{sif,2} = 1,72$ ;
3. caixa sifonada -  $100 \times 150 \times 50$  -  
 $H_{o,3} = 50\text{mm}$ ,  $r_{sif,3} = 1,00$ .

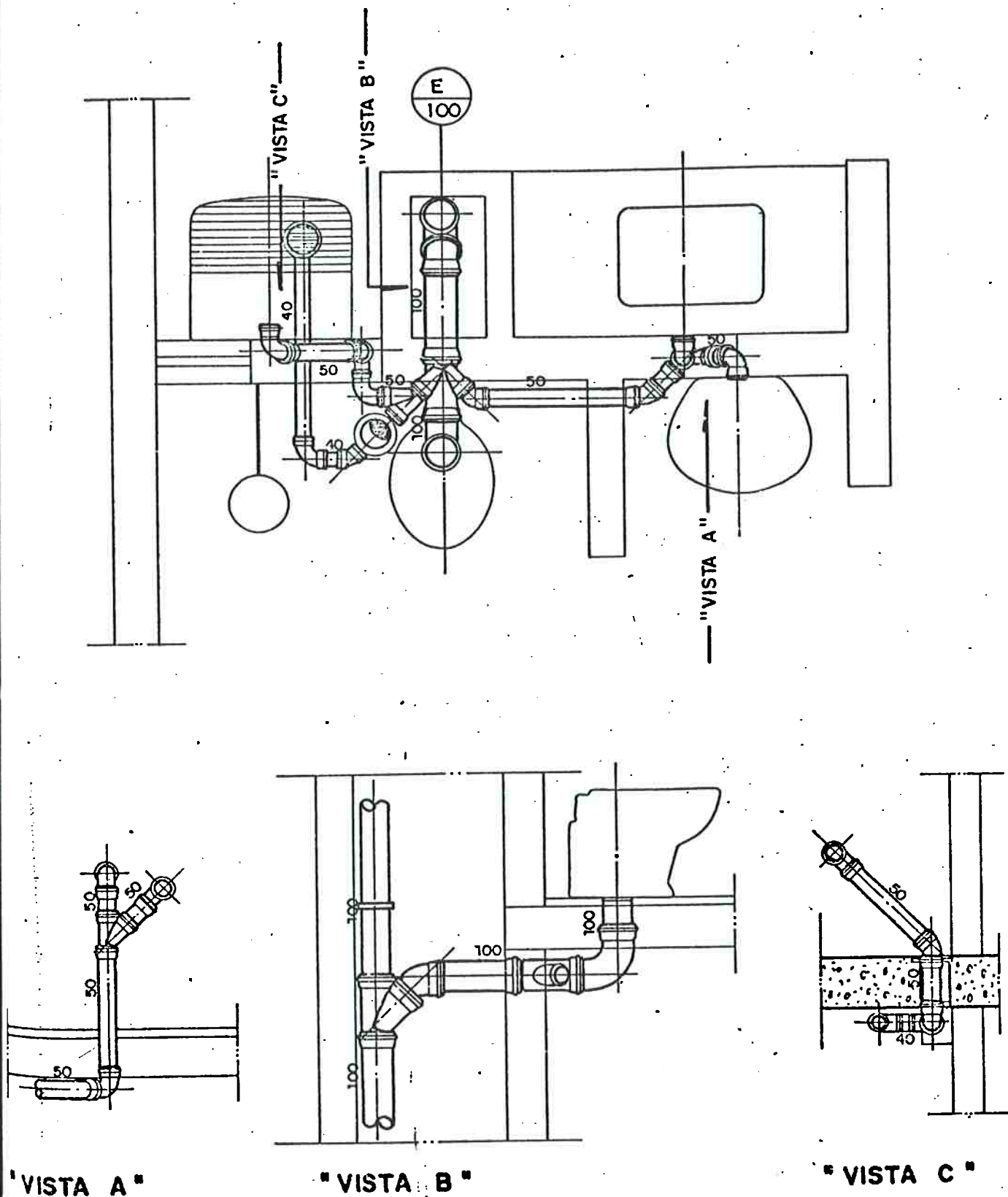


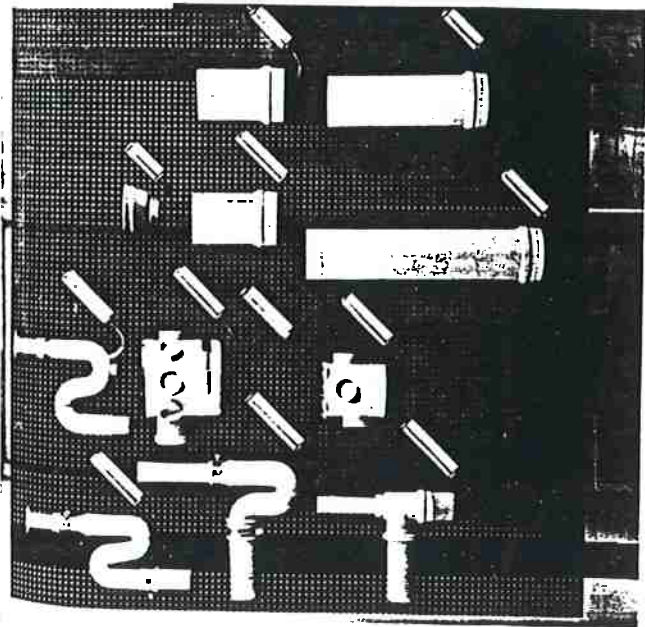
Figura 44 - Detalhe de instalação de coleta de esgotos sanitários, sem ventilação secundária, do edifício objeto do estudo.

Inicialmente, para a aplicação do modelo, devemos estabelecer as perdas de altura hídrica admissível para os três tipos de sifões da instalação. Conforme a expressão (311) devemos conhecer os coeficientes de evaporação dos referidos sifões ( $c_e$ ).

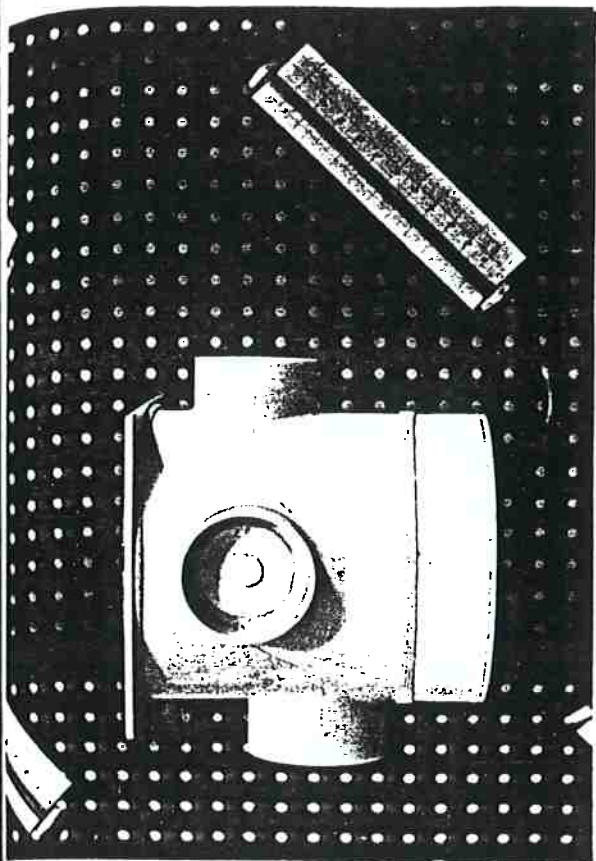
Tendo em vista esta necessidade, montamos o painel da figura 45(a), onde procuramos avaliar a evolução da evaporação em sifões tubulares, em caixas sifonadas e em tubos de diâmetro de 100mm, ao longo de nove semanas. Para tal, utilizamos também, termohigrógrafo da marca "Haenni", com registrador contínuo de temperatura e umidade relativa do ar (ver figura 45(c)). A figura 45(b) apresenta uma caixa sifonada mostrando a maneira pela qual acompanhamos a diminuição da altura hídrica, ou seja, através de tubo transparente com 5mm de diâmetro, instalado a 45° em comunicação com a caixa sifonada (vasos comunicantes), tendo ao fundo escala milimetrada.

A diferença de nível devido à capilaridade no tubo transparente foi considerada quando eram obtidos os dados de altura hídrica, na escala milimetrada. Utilizamos a inclinação de 45°, para o tubo transparente, para facilitar a leitura dos dados.

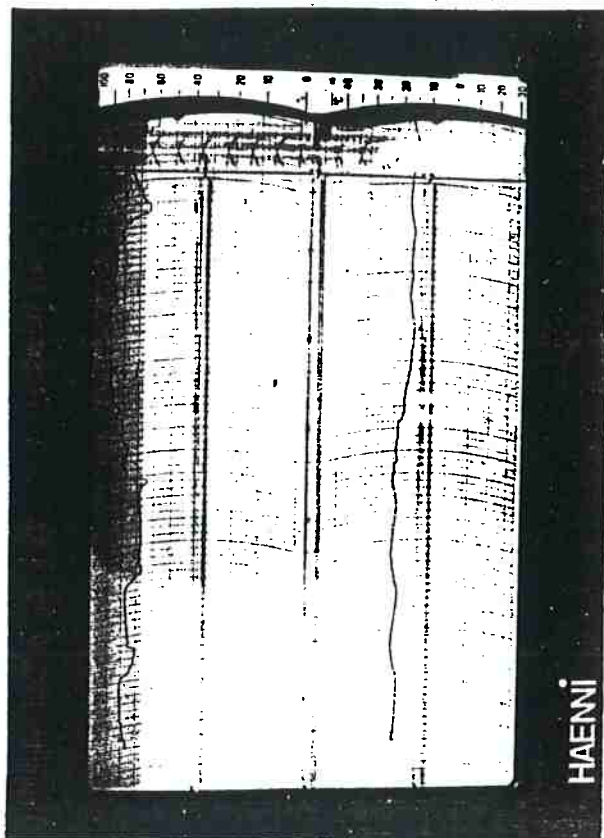
Apresentamos os dados e resultados desta pesquisa de evaporação nas seguintes tabelas:



(a) painel



(b) detalhe da caixa sifonada



(c) termohigrógrafo

Figura 45 - Painel utilizado para a verificação dos coeficientes de evaporação de diversos tipos de sifões.

Tabela 15 - Características dos sifões utilizados para a verificação dos coeficientes de evaporação;

Tabela 16 - Valores das perdas de altura hidrica semanais, por evaporação;

Tabela 17 - Valores médios semanais de temperatura e umidade relativa do ar;

Tabela 18 - Coeficientes de evaporação dos sifões estudados.

Nos gráficos 17, 18, 19, 20 e 21 apresentamos os valores de intensidade de evaporação ( $i_e$ ) medidos, para cada elemento, no eixo das ordenadas e os valores de  $\pi(1 - y)$ , no eixo das abscissas. O coeficiente angular, nos gráficos, é o coeficiente de evaporação.

PEÇA	ALTURA HÍDRICA H <sub>o</sub> (mm)	DIÂMETRO DE ENTRADA (mm)	DIÂMETRO DE SAÍDA (mm)	RELAÇÃO DE CÂMARAS $\gamma_{se}$	ALTURA DO TOPO AO NÍVEL DE ÁGUA (cm)
1	47	38	50	0,07	9
2	50	38	45	1,00	9
3	37	32	40	1,72	18
4	50	38	50	1,00	23
5	43	15	25	1,00	15
6	42	19	38	1,00	15
7	50	—	—	—	13
8	50	—	—	—	13
9	50	—	—	—	42
10	50	—	—	—	27

1. caixa sifonada 15 x 15 x 50 com grelha;
2. caixa sifonada 10 x 15 x 50 com grelha;
3. sifão tipo "garrafa" com corpo removível;
4. sifão tipo "P", flexível;
5. sifão tipo "S", rígido;
6. sifão tipo "S", flexível;
7. tubo curto com grelha;
8. tubo curto sem grelha;
9. tubo longo;
10. tubo médio.

Tabela 15 - Características dos sifões utilizados para a verificação dos coeficientes de evaporação.



PEÇA	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	TOTAL
1	4	5	4	4	4	4	2	3	5	35
2	4	4	3	3	3	2	2	3	5	29
3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	13
4	1	0	0	3	0	0	2	2	3	11
5	0	0	0	2	1	0	0	1	1	5
6	1	2	1	1	1	2	1	2	1	12
7	3	3	5	5	3	2	3	3	3	30
8	6	5	5	6	7	5	4	5	6	49
9	5	5	5	4	4	4	4	4	5	40
10	4	4	5	6	6	3	3	4	6	41

(valores em mm sem correção de ângulo de leitura)  
 fator de correção  $\rightarrow \div \sqrt{2}$ .

Tabela 16 - Valores de perdas de altura hidrica semanais, por evaporação.

SEMANA	t (°C)	y (ad)	$\Pi$ (Pa)	$\Pi(1-y)$ (Pa)
1ª	19.7	0.75	2295	574
2ª	16.5	0.76	1875	450
3ª	16.7	0.75	1900	475
4ª	19.0	0.74	2197	571
5ª	18.0	0.73	2065	558
6ª	16.4	0.78	1865	410
7ª	11.3	0.74	1340	348
8ª	15.7	0.70	1780	534
9ª	17.4	0.71	1990	577
MÉDIA	16.74	0.74	1923	500

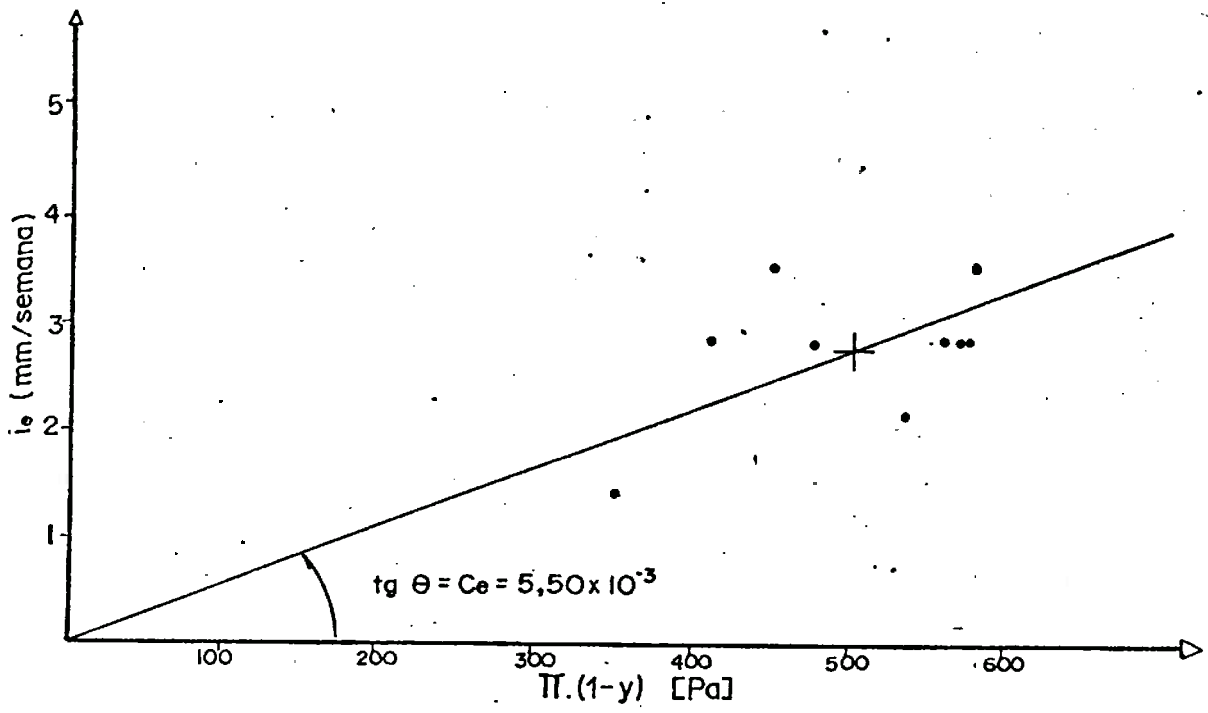
Tabela 17 - Valores médios semanais de temperatura e umidade relativa do ar.

PEÇA	$i_e$ médio (mm/sem.)	$C_e$ ( $\times 10^{-3}$ ) (mm m <sup>2</sup> /N.sem.)
1	2,75	5,50
2	2,28	4,55
3	1,02	2,04
4	0,86	1,73
5	0,40	0,79
6	0,94	1,88
7	2,35	4,71
8	3,85	7,69
9	3,14	6,28
10	3,22	6,45

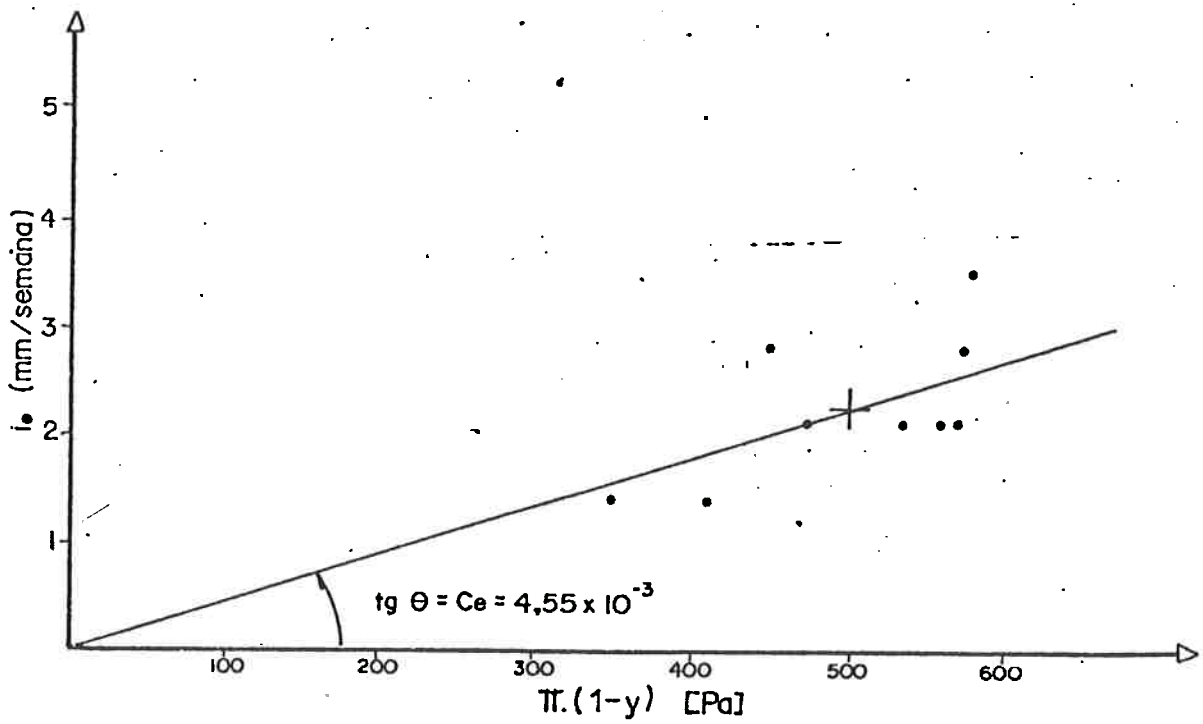
$\pi(1 - \gamma)$  médio no período = 500 Pa.

$$C_e = \frac{i_e}{\pi(1 - \gamma)} \rightarrow c_e = \frac{i_e \text{ médio semanal}}{500}$$

Tabela 18 - Coeficientes de evaporação dos sifões estudados.

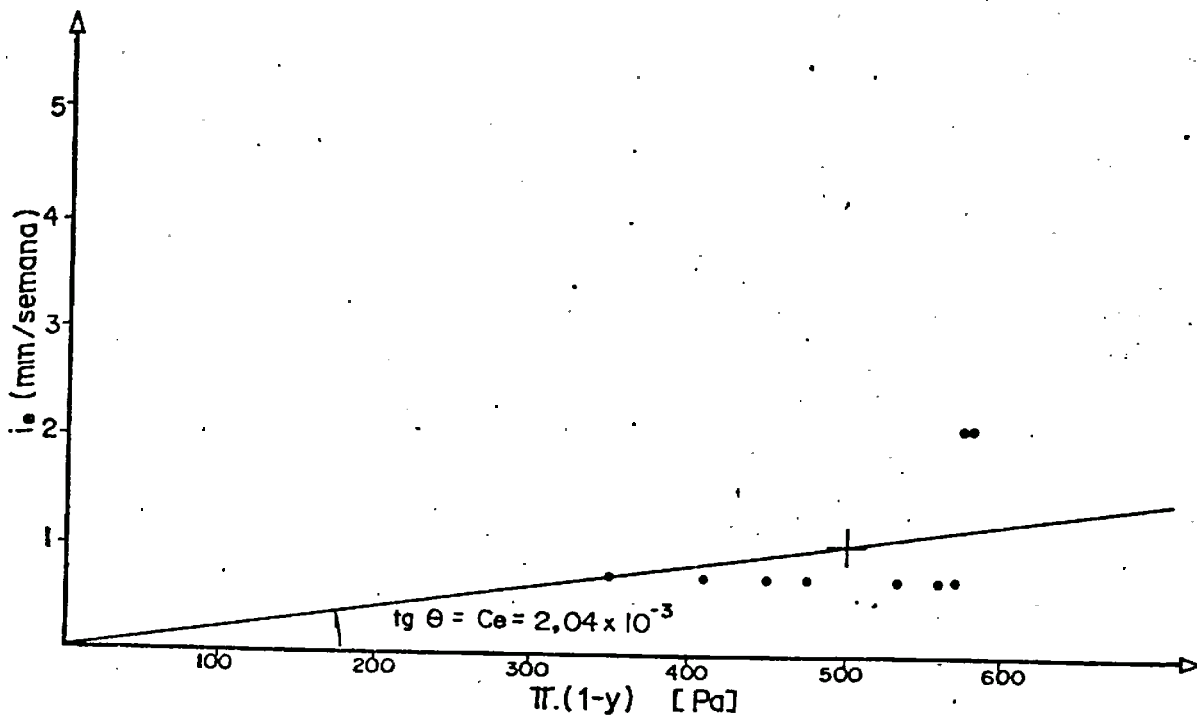


(a) caixa sifonada 15x15 cm

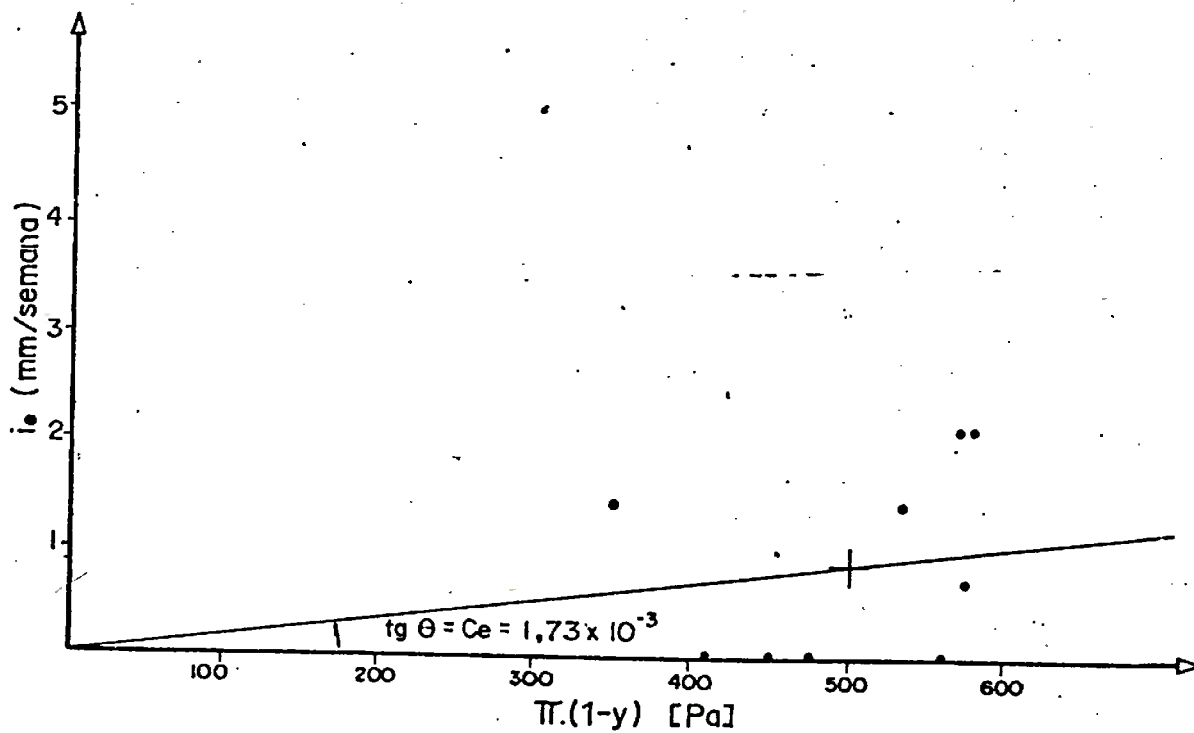


(b) caixa sifonada 10x15 cm

Gráfico 17 -  $i_e \times \Pi(1 - \gamma)$  - Caixas sifonadas.

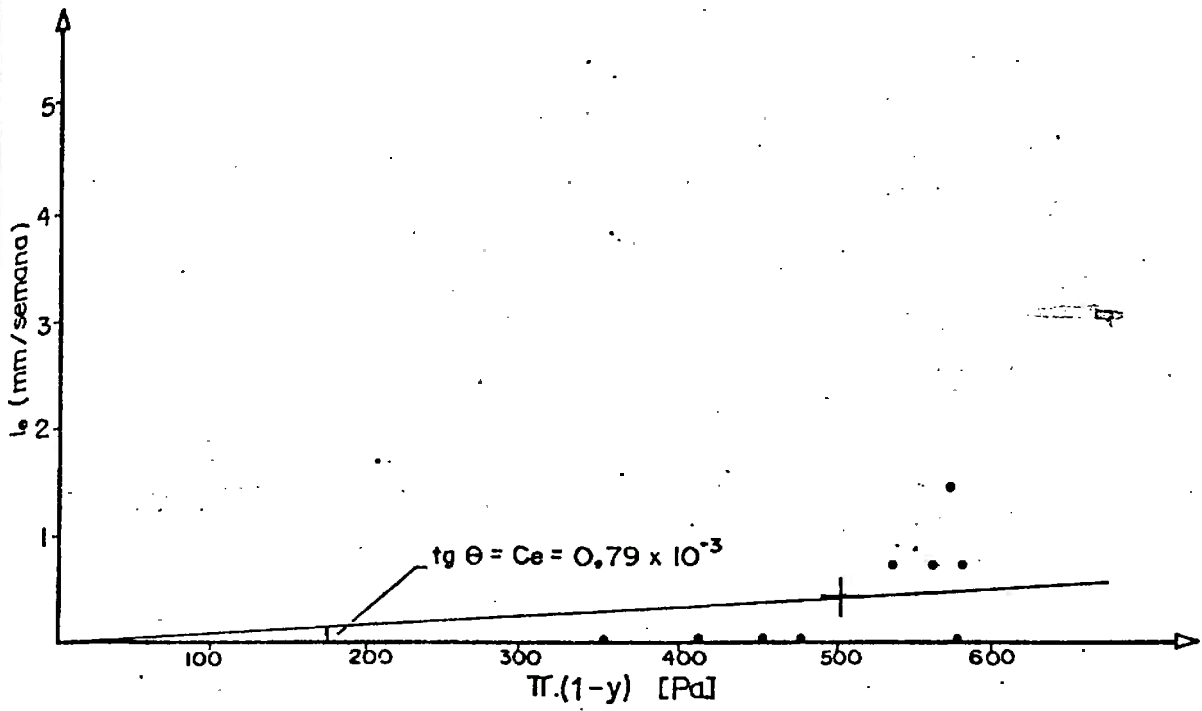


(a) sifão com copo removível

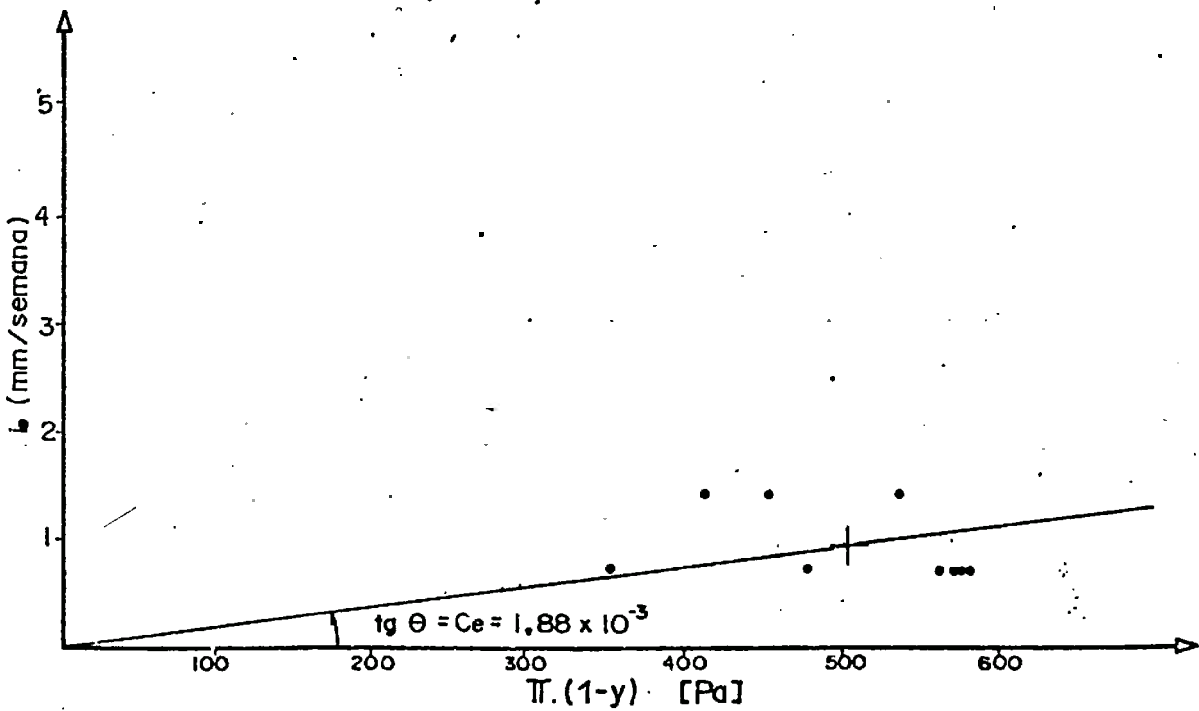


(b) sifão flexível com saída horizontal

Gráfico 18 -  $i_e \times \pi(1-y)$  - Sifões tipo "garrafa" e "P"

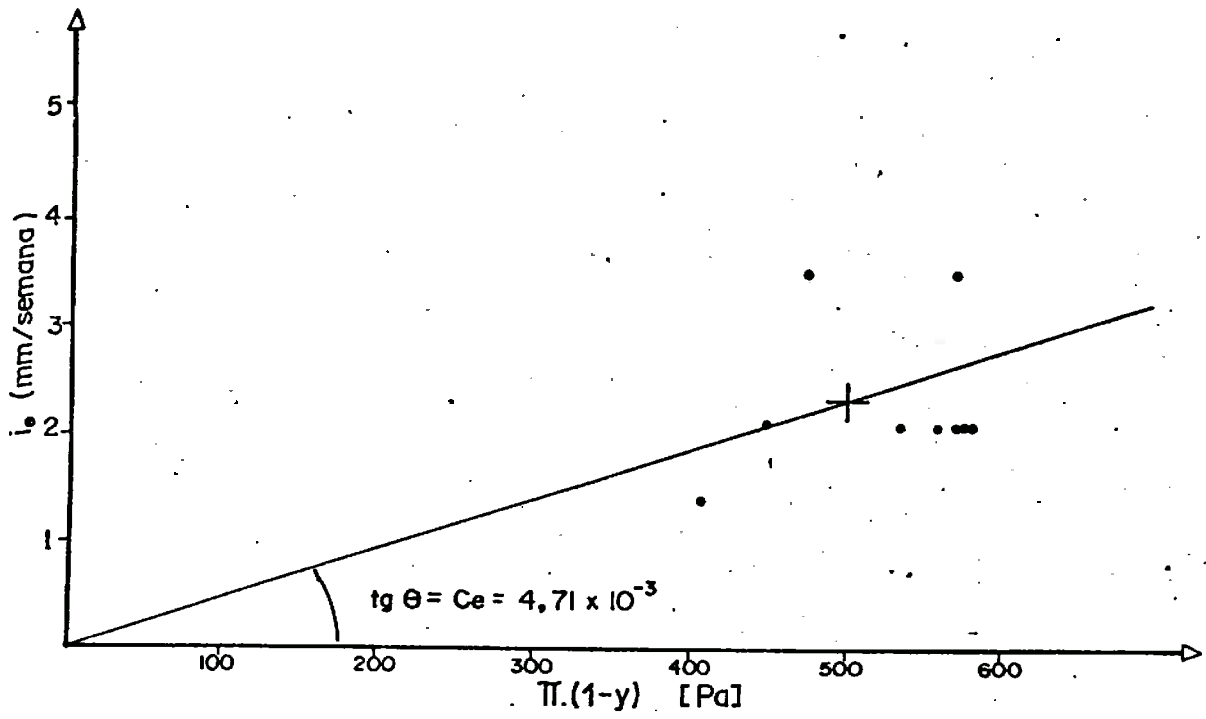


(a) sifão rígido com saída vertical

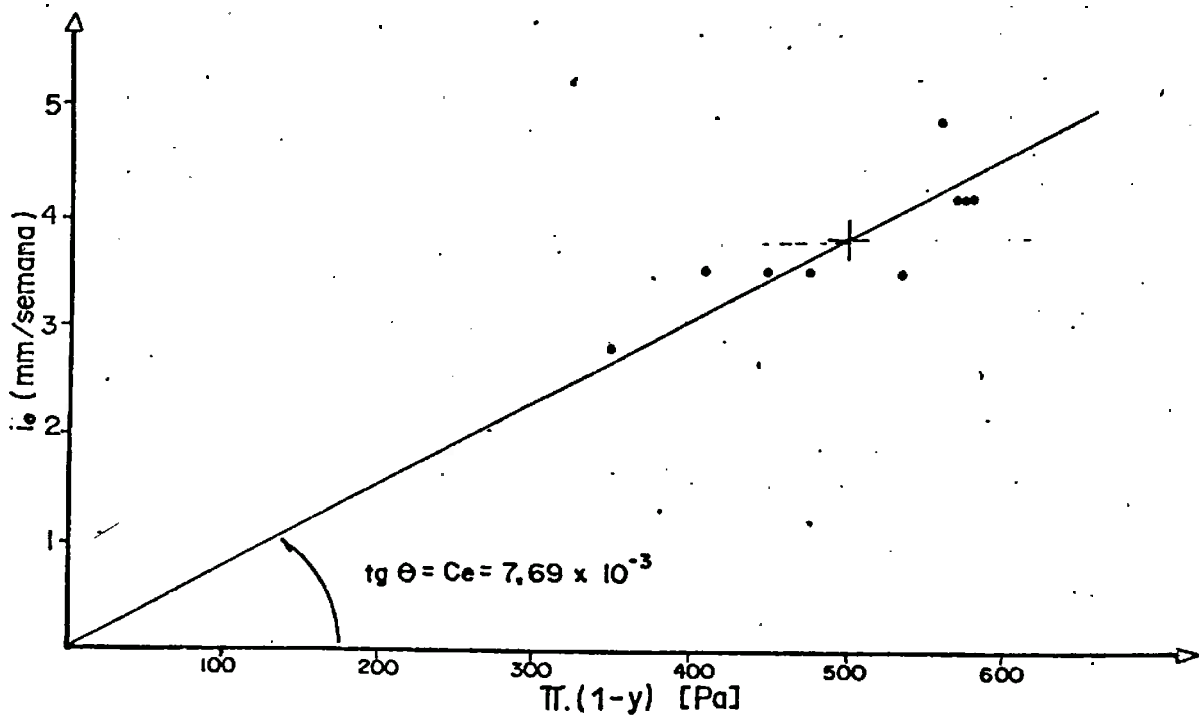


(b) sifão flexível com saída vertical

Gráfico 19 -  $i_e \times \Pi(1-y)$  - Sifões "S".

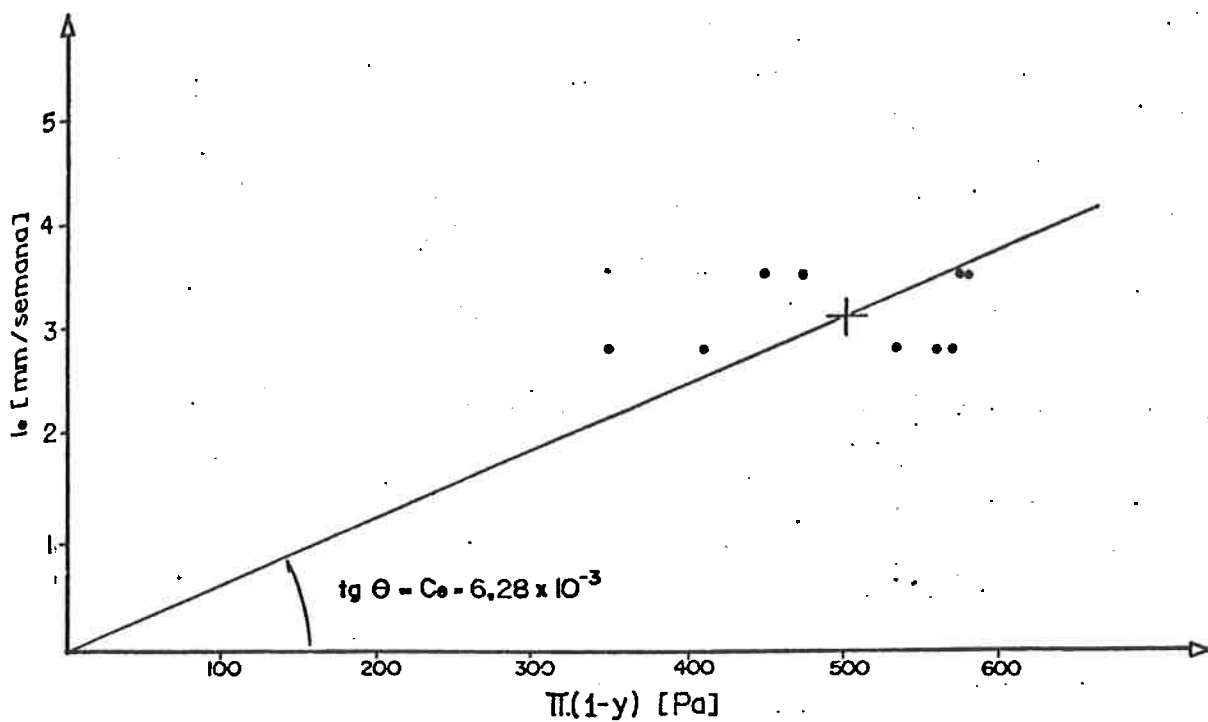


(a) tubo curto com grelha

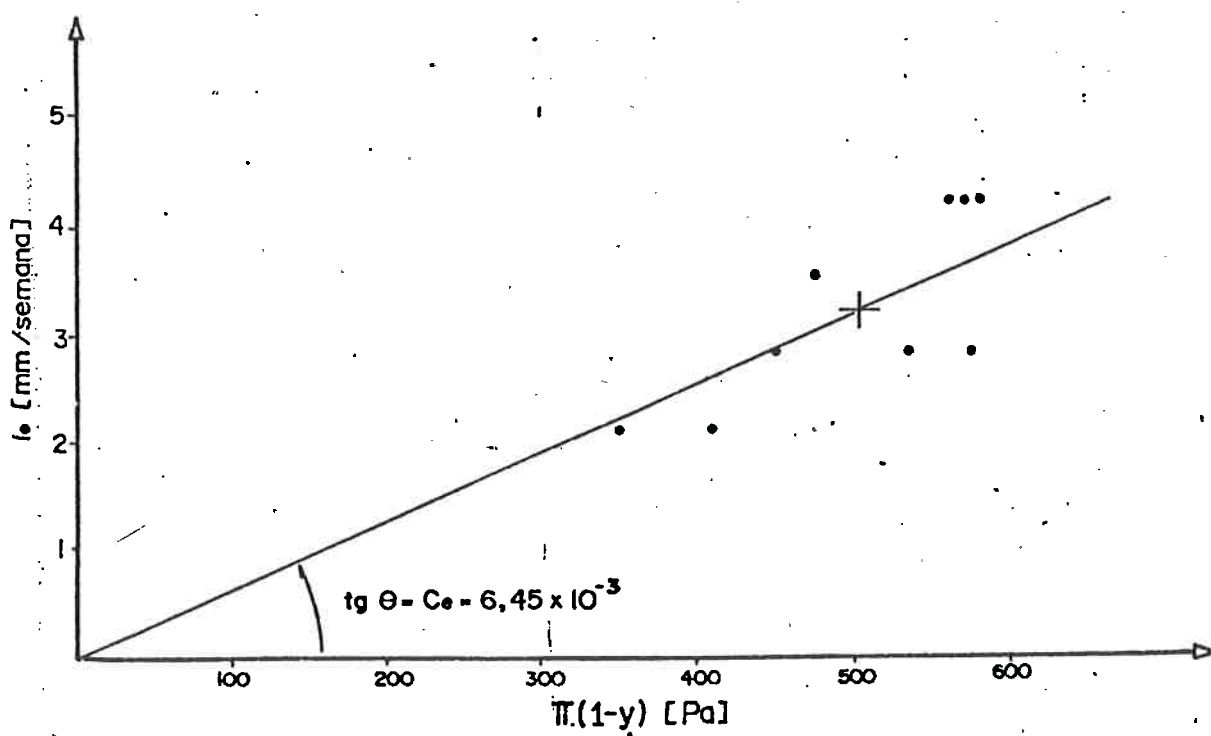


(b) tubo curto sem grelha

Gráfico 20 -  $i_e \times \Pi(1 - y)$  - Tubos curtos.



(a) tubo longo



(b) tubo médio

Gráfico 21 -  $i_e \times \pi(1-y)$  - Tubo longo e médio.



Então, para os sifões da instalação em estudo, consideraremos os seguintes coeficientes de evaporação:

1. sifão incorporado na bacia sanitária -

$$c_{e1} = 8,0 \times 10^{-3} \text{ mm m}^2 / \text{N semana.}$$

2. sifão tipo garrafa -

$$c_{e2} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mm m}^2 / \text{N semana.}$$

3. caixa sifonada -

$$c_{e3} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mm m}^2 / \text{N semana.}$$

Ainda, para estabelecermos as perdas de altura hídrica admissíveis admitiremos que:

$$t = 20^\circ\text{C} \rightarrow \pi = 2340 \text{ Pa (N/m}^2)$$

$$y = 0,7 \text{ (70\%)}$$

$$\Delta t_e = 4,5 \text{ semanas}$$

Podemos, assim, calcular as perdas de altura hídrica admissíveis para cada um dos três tipos de sifão utilizados na instalação.

Temos, então, da expressão (311):

$$\begin{aligned} \Delta H_{a,1} &\leq 55 - 8,0 \times 10^{-3} \times 2340 \times (1 - 0,7) \times 4,5 = \\ &= 55 - 25,27 = 29,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{a,2} &\leq 37 - 2,0 \times 10^{-3} \times 2340 \times (1 - 0,7) \times 4,5 = \\ &= 37 - 6,32 = 30,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{a,3} \leq 50 - 5,0 \times 10^{-3} \times 2340 \times (1-0,7) \times 4,5 =$$

$$= 50 - 15,80 = 34,20\text{mm}$$

Determinemos, agora, os valores de  $\Delta H_{a,1}$  necessários para o cálculo das depressões admissíveis. Temos, da expressão (314):

$$\Delta H_{a,1} = 0,102 \frac{539,55}{1,85} = 29,75\text{mm}$$

$$\Delta H_{a,2} = 0,102 \frac{362,97}{2,72} = 13,62\text{mm}$$

$$\Delta H_{a,3} = 0,102 \frac{490,5}{2,00} = 25,02\text{mm}$$

Comparando-se os valores de  $\Delta H_{a,1}$  com os valores de  $\Delta H_{a,1}$ , podemos calcular os valores de  $\Delta p_{a,dp,1}$  pelas expressões (312) e (313):

$$\Delta H_{a,1} < \Delta H_{a,1} \dots\dots\dots 29,73 < 29,75$$

$$\Delta p_{a,dp,1} = 9,81 (1 + 0,85) 29,73 \approx 540 \text{ Pa}$$

$$\Delta H_{a,2} > \Delta H_{a,2} \dots\dots\dots 30,68 > 13,62$$

$$\Delta p_{a,dp,2} = 9,81 (1 + 1,72) 13,62 \approx 364 \text{ Pa}$$

$$\Delta H_{a,3} > \Delta H_{a,3} \dots\dots\dots 34,20 > 25,02$$

$$\Delta p_{a,dp,3} = 9,81 (1 + 1) 25,02 \approx 490 \text{ Pa}$$

Podemos, então, estabelecer a depressão máxima admissível, a partir da expressão (317). Assim:

$$\Delta p_{a,dp} = \min (540, 364, 490) = 364 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

Determinemos, agora, as sobrepressões admissíveis em cada tipo de sifão, a partir das expressões (315) e (316). Temos:

$$r_{sif,1} < 1 \dots\dots\dots 0,85 < 1$$

$$\Delta p_{a,sp,1} = \min \left( \frac{998,17}{0,85} = 1.174, 540 \right) = 540 \text{ Pa}$$

$$r_{sif,2} > 1 \dots\dots\dots, 1,72 > 1$$

$$\Delta p_{a,sp,2} = \min \left( \frac{2.226,70}{1,72} = 1.295, 624 \right) = 624 \text{ Pa}$$

$$r_{sif,3} = 1 \dots\dots\dots 1 = 1$$

$$\Delta p_{a,sp,3} = \min \left( \frac{1.962,00}{1} = 1.962, 490 \right) = 490 \text{ Pa}$$

Podemos, então, estabelecer a sobrepressão máxima admissível, a partir da expressão (318). Assim:

$$\Delta p_{a,sp} = \min (540, 624, 490) = 490 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

Resumindo, os valores admissíveis para a perda de altura hídrica, depressão e sobrepressão são os seguintes:

$$\Delta H_{a,1} = 29,73\text{mm};$$

$$\Delta H_{a,2} = 30,68\text{mm};$$

$$\Delta H_{a,3} = 34,20\text{mm};$$

$$\Delta p_{a,ap} = 364 \text{ Pa (N/m}^2\text{)};$$

$$\Delta p_{a,sp} = 490 \text{ Pa (N/m}^2\text{)};$$

Passemos, agora, ao estabelecimento das solicitações resultantes das ações de auto-sifonagem, sifonagem induzida, tiragem térmica e ação do vento, variação da pressão ambiental e sobrepressão.

Temos, então:

- auto-sifonagem

$$\Delta H_{r,as,1} = \Delta H_{r,as,1,1} = 0$$

$$\Delta H_{r,as,2} = \max [\Delta H_{r,as,2,1}; \Delta H_{r,as,2,2}; \Delta H_{r,as,2,3}]$$

$$\text{como } \Delta H_{r,as,2,1} = \Delta H_{r,as,2,2} = \Delta H_{r,as,2,3} = 0$$

$$\text{logo } \Delta H_{r,as,2} = 0$$

$$\Delta H_{r,as,3} = \Delta H_{r,as,3,1} = 0$$

Comparando-se os valores resultantes com os admissíveis temos, pela expressão (320):

$$\Delta H_{r,as,1} < \Delta H_{a,1} \dots\dots\dots 0 < 29,73\text{mm}$$

$$\Delta H_{r,as,2} < \Delta H_{a,2} \dots\dots\dots 0 < 30,68\text{mm}$$

$$\Delta H_{r,as,3} < \Delta H_{a,3} \dots\dots\dots 0 < 34,20\text{mm}$$

Logo, verifica-se a condição expressa em (320), não sendo necessária a ventilação secundária para proteção contra auto-sifonagem.

- depressão resultante

$$\Delta p_{r, \text{dep}} = \max (|\Delta p_{r, \text{si}}|, |\Delta p_{r, \text{ev}}|) + I_1 |\Delta p_{r, \text{amb}}|$$

Temos que:

$\Delta p_{r, \text{si}} = -206 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$ , valor calculado no exemplo do item 7.2 e 7.6.

$$\Delta p_{r, \text{ev}} = 176,77 \left( -19,62 h_{\text{eq}} \frac{\Delta T}{T_1 T_2} + k \frac{v_w^2}{T_2} \right), \text{ expressão (15)}$$

Admitindo-se:

$$h_{\text{eq}} = 20\text{m};$$

$$v_w = 10\text{m/s};$$

$$k = -0,6;$$

$$T_1 = 288^\circ\text{K (15}^\circ\text{C)};$$

$$T_2 = 273^\circ\text{K (0}^\circ\text{C)}.$$

Logo:

$$\Delta p_{r, \text{ev}} = -52,1 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$\Delta p_{r, \text{amb}} = 0$$

A depressão máxima resultante pode ser obtida através da expressão (321). Temos assim:

$$\Delta p_{r,dp} = \max(206; 52,1) + 0 = 206 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

Comparando-se o valor da depressão máxima resultante com a admissível temos, pela expressão (322):

$$\Delta p_{r,dp} < \Delta p_{a,dp} \dots\dots\dots 206 < 364 \text{ Pa}$$

Logo, verifica-se a condição expressa em (322), não sendo necessária a ventilação secundária para a proteção contra a ação de depressões no sistema.

- sobrepressão resultante

$$\Delta p_{r,sp} = \Delta p_{r,sb} + I_z |\Delta p_{r,amb}|$$

temos que:

$\Delta p_{r,sb} = 0$ , consideraremos que  $\Delta p_{r,sb}$  é igual a zero, no modelo, pois os sifões não estão ligados em zonas de ocorrência de sobrepressão.

$$\Delta p_{r,amb} = 0$$

Assim, a sobrepressão máxima resultante nos sifões é igual a zero.

Comparando-se o valor da sobrepressão máxima resultante com a admissível, temos pela expressão (324):

$$\Delta p_{r,sp} < \Delta p_{a,sp} \dots\dots\dots 0 < 490 \text{ Pa}$$



Para cada uma destas configurações foram efetuadas três medidas distintas de perda de altura hídrica.

Os valores apresentados na tabela 19 são os valores máximos de perda de altura hídrica observados, para os diversos sifões.

Podemos escrever, a partir da tabela 17 que os valores máximos de perda de altura hídrica observados para tipo de sifão instalado são os seguintes:

$$\Delta H_{ob,1} = 8\text{mm};$$

$$\Delta H_{ob,2} = 8\text{mm};$$

$$\Delta H_{ob,3} = 8\text{mm};$$

onde:

$\Delta H_{ob,i}$  - perda de altura hídrica máxima observada no sifão do tipo i.

Comparando-se os valores acima com os valores admissíveis temos:

$$\Delta H_{ob,1} < \Delta H_{a,1} \dots\dots\dots 8 < 29,73\text{mm};$$

$$\Delta H_{ob,2} < \Delta H_{a,2} \dots\dots\dots 8 < 30,68\text{mm};$$

$$\Delta H_{ob,3} < \Delta H_{a,3} \dots\dots\dots 8 < 34,20\text{mm}.$$

Foram, também verificadas as condições de auto-sifonagem obtendo-se perda de altura nula para todas as montagens.

Nestas condições, pudemos verificar, experimentalmente, que o sistema proposto na figura 44, efetivamente, não necessita de ventilação secundária.



DESCARGAS	P A V.	APARELHOS SANITÁRIOS				
		BACIA	LAVATÓRIO	CHUVEIRO	PIA	TANQUE
BS. 4	2	1	0	2	1	4
	3	8	2	8	5	8
	4	—	4	5	5	2
BS. 2	2	—	1	1	2	2
	3	0	2	1	4	6
	4	2	4	5	2	2
BS.2/BS3	2	—	0	2	2	1
	3	—	2	2	5	2
	4	2	3	2	3	2
BS.4/LV.4 PC.4/BS.3	2	3	1	1	2	2
	3	—	2	4	5	5
	4	—	—	3	—	2
BS.3/BS.2 LV.2/PC.2	2	—	—	2	—	2
	3	—	2	3	5	5
	4	2	4	3	5	2
BS.4/BS3 BS.2	2	—	0	2	2	2
	3	—	0	4	5	3
	4	—	4	3	3	2

Tabela 19 - Valores máximos de perda de altura hídrica (em mm) dos diversos sifões para as configurações de descarga utilizadas.

A título de ilustração, apresentamos na figura 46 sistema análogo ao da figura 44, projetado de acordo com as exigências da Norma Brasileira [47], incluindo ventilação secundária.

Procedemos o levantamento dos custos aproximados das duas soluções (figuras 44 e 46). Nas tabelas 20 e 21 estão listados os materiais empregados com as respectivas quantidades. Assim, a nível estimativo, considerando material e mão de obra, os custos aproximados, por apartamento, das alternativas são os seguintes:

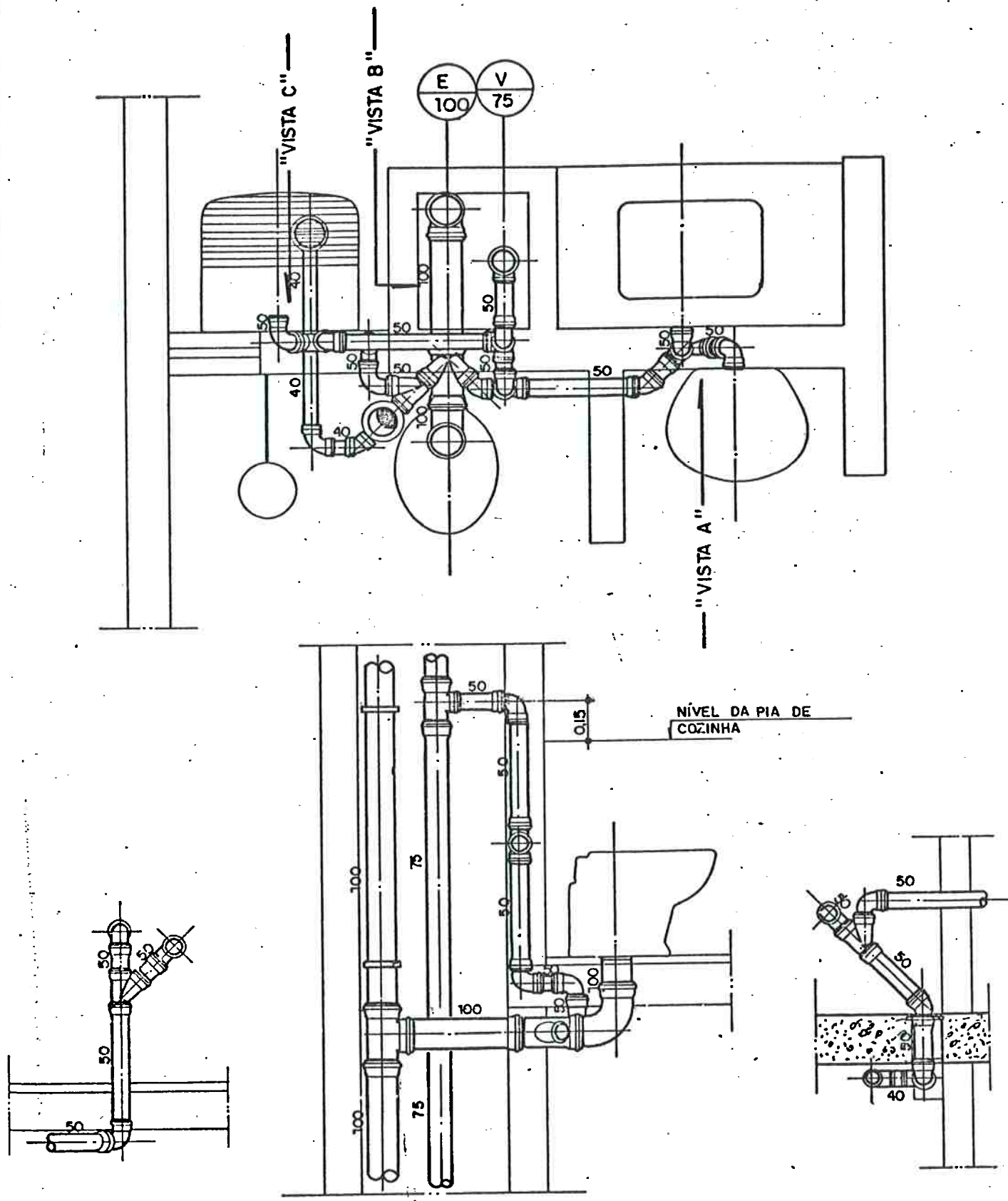
- sistema sem ventilação secundária,  
da figura 44 ..... Cr\$200.000 (4,35 ORTN)
- sistema com ventilação secundária,  
da figura 46 ..... Cr\$140.000 (3,05 ORTN)

Podemos observar que a adoção do sistema sem ventilação secundária, aplicado ao edifício em estudo representa uma economia de 1,30 ORTN por unidade habitacional, isto é de aproximadamente 30% sobre o valor do sistema com ventilação secundária.

Esta economia, advinda da utilização do sistema sem ventilação secundária, pode ser considerada, neste caso, subestimada, pois não foram apropriados os custos relativos ao aumento de área do

poço técnico (ver figura 44 e 46) para a colocação da coluna de ventilação.

Nesta parte do trabalho, procuramos propor um modelo para a avaliação da necessidade de utilização de ventilação secundária em sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários. A aplicação do modelo, a um caso real, revelou a possibilidade de utilização de tal sistema para edifícios de cinco pavimentos, com significativa economia na implantação dos sistemas.



" VISTA A "

" VISTA B "

" VISTA C "

Figura 46 - Detalhe de instalação de coleta de esgotos com sistema de ventilação secundária.

DESCRIÇÃO DO MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	TOTAL
JOELHO 45°	40	1 pc
CURVA 90°	40	1 pc
JUNÇÃO SIMPLES	50 x 50	2 pc
JOELHO 45°	50	3 pc
JOELHO 90°	50	4 pc
CURVA 90° CURTA	50	2 pc
JUNÇÃO DUPLA	100 x 50 x 50	1 pc
JUNÇÃO SIMPLES	100 x 100	1 pc
JOELHO 45°	100	1 pc
CURVA 90° CURTA	100	1 pc
CAIXA SECA REDONDA	100 x 100 x 40	1 pc
CAIXA SIFONADA	100 x 100 x 50	1 pc
LIGAÇÃO P/ SAÍDA DO VASO SANITÁRIO	100	1 pc
VEDAÇÃO P/ SAÍDA DE VASO SANITÁRIO	100	1 pc
PROLONGAMENTO P/ CAIXA SIFONADA 20cm	100	1 pc
GRELHA REDONDA P/ CAIXA SIFONADA/SECA	100	2 pc
TUBO PVC RÍGIDO LINHA SANITÁRIA BRANCA	40	0,75 m
TUBO PVC RÍGIDO LINHA SANITÁRIA BRANCA	50	1,72 m
TUBO PVC RÍGIDO LINHA SANITÁRIA BRANCA	100	0,34 m

Tabela 20 - Lista dos materiais necessários para instalação do sistema sem ventilação secundária (excluído o tubo de queda).

DESCRIÇÃO DO MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	TOTAL
JOELHO 45°	40	1 pc
CURVA 90°	40	1 pc
JUNÇÃO SIMPLES	50 x 50	3 pc
JOELHO 45°	50	3 pc
JOELHO 90°	50	8 pc
CURVA 90° CURTA	50	2 pc
JUNÇÃO DUPLA	100 x 50 x 50	1 pc
TÊ	75 x 50	1 pc
TÊ	50 x 50	2 pc
TÊ	100 x 100	1 pc
CURVA 90° CURTA	100	1 pc
CAIXA SECA REDONDA	100 x 100 x 40	1 pc
CAIXA SIFONADA	100 x 100 x 50	1 pc
LIGAÇÃO P/ SAÍDA DO VASO SANITÁRIO	100	1 pc
VEDAÇÃO P/ SAÍDA DE VASO SANITÁRIO	100	1 pc
PROLONGAMENTO P/ CAIXA SIFONADA 20cm	100	1 pc
GRELHA REDONDA P/ CAIXA SIFONADA/SECA	100	2 pc
TUBO PVC RÍGIDO LINHA SANITARIA BRANCA	40	0,75 m
TUBO PVC RÍGIDO LINHA SANITARIA BRANCA	50	2,90 m
TUBO PVC RÍGIDO LINHA SANITARIA BRANCA	75	2,5 m
TUBO PVC RÍGIDO	100	0,44 m

Tabela 21 - Lista dos materiais necessários para instalação de sistema com ventilação secundária (excluído o tubo de queda).

## 9. COMENTARIOS E CONCLUSOES

No desenvolvimento deste trabalho pudemos estudar os diversos fatores relacionados com o desempenho dos sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, e em particular aqueles sem ventilação secundária.

Do exposto ao longo deste trabalho temos a apontar que:

- a utilização dos conceitos de desempenho aplicados aos sistemas sanitários prediais apresenta-se como uma ferramenta de extrema valia para a compreensão das reais funções dos sistemas, fator fundamental para a concepção e formulação de critérios que permitam a realização de projetos e conseqüentemente de instalações adequadas;
- as técnicas de projeto, usualmente utilizadas, baseiam-se em modelos prescritivos de sistemas com configurações pré-estabelecidas;
- a compreensão dos fenômenos de natureza hidráulica e pneumática, de ocorrência no interior dos sistemas, é ponto de fundamental importância para a formulação quantitativa do comportamento dos sistemas, tendo-se em vista a necessidade do estabelecimento de metodologia geral de projeto de tais sistemas;

- o estudo do comportamento dos usuários, quanto à frequência e duração de uso dos aparelhos sanitários, constituiu-se, também, fator de real significação para o estabelecimento das vazões de projeto que representem, de forma adequada, as condições de utilização dos sistemas;
- as possibilidades de economia, na implantação de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários estão intimamente ligadas ao grau de compreensão do comportamento dos sistemas e ao potencial dos modelos formulados;
- há, ainda, diversos aspectos de comportamento dos sistemas, que necessitam de estudo adequado, para que se possa considerar vencidas as etapas do conhecimento necessário à formulação de uma metodologia geral e abrangente para o projeto de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários. Evidenciamos, aqui, a necessidade de intensificação de pesquisas na área, objeto deste trabalho, pois os esforços neste sentido têm sido insuficientes para as possibilidades de melhoria que pudemos vislumbrar;
- o desenvolvimento de pesquisas sobre o tema central deste trabalho, bem como sobre as instalações sanitárias prediais, entendidas como um todo, somente pode ser levado a bom termo, através de iniciativa governamental, a exemplo do que ocorre na grande maioria dos países desenvolvidos.



Assim, procuramos ao longo deste trabalho, evidenciar problemas e procurar apontar possibilidades de solução, supondo que este nosso esforço possa servir para um melhor entendimento do comportamento dos sistemas em questão, e, se possível, subsidiar através de nossas idéias, esta área de tecnologia relegada a plano secundário em nosso País.

A formulação do modelo apresentada e o modelo propriamente dito, tiveram por finalidade a organização dos conceitos relativos ao comportamento dos sistemas prediais de esgotos sanitários, em geral, dispersos em diversos artigos técnicos sobre o assunto. Procuramos, ainda, emitir nossos próprios conceitos quando, a oportunidade para tanto foi verificada.

Neste trabalho, procuramos também, a partir dos conceitos apresentados e do modelo proposto, verificar a adequabilidade a um caso real.

Na formulação e aplicação do modelo, pudemos verificar que:

- a ventilação secundária deve ser entendida como consequência natural da análise técnica e econômica, através da aplicação do modelo proposto, e não como uma hipótese, sob a qual deve ser pautado o projeto de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários;

- a flexibilidade do modelo associada à simplicidade de sua aplicação permite, ao projetista, a identificação das variáveis intervenientes de forma explícita bem como possibilita a alteração de elementos críticos do sistema, podendo, o mesmo, com este procedimento obter soluções mais adequadas, sob o ponto de vista técnico e econômico;
- o sistema predial de coleta de esgotos sanitários, sem ventilação secundária, é uma alternativa técnica e economicamente viável para edifícios residenciais de cinco pavimentos, desde que adequadamente projetados;
- a aplicação do modelo proposto a edifícios de maior altura e por outros tipos de ocupação é viável, visto que o modelo apresentado tem caráter geral;
- há necessidade de aumento do grau de confiabilidade dos dados de entrada no modelo. Há, portanto, que se dirigir esforços de pesquisa neste sentido.
- há necessidade de revisão da normalização brasileira que rege o assunto, tendo-se em vista que os conceitos expressos na referida normalização devem ser reavaliados à luz do estágio atual de conhecimento, trazendo com isso, inúmeros benefícios à comunidade.

Esperamos ter dado nossa modesta contribuição às técnicas de projeto de sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários, com o desenvolvimento do presente trabalho.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION (CIB), "Working with the Performance Approach in Building", CIB - Report, Publication 64, January/1982.
- [2]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), "Performance Standards in Buildings: Contents and Preparation", London, 1980 (DP 6240).
- [3]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), "Performance Standards in Buildings: Principles for Their Preparation and Factors for Inclusion", London, 1981 (DP 6241).
- [4]. SOUZA, R., "A Contribuição do Conceito de Desempenho para a Avaliação do Edifício e suas Partes Aplicação às Janelas de Uso Habitacional", Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1983.
- [5]. CHURCHMAN, C. W., "Introdução à Teoria dos Sistemas", Editora Vozes, 2a. Edição, 1972.
- [6]. AZEVEDO NETO, J. M., "Cronologia do Abastecimento de Água, com especial referência ao Brasil, até 1970", Revista DAE, vol. 44, n. 137, junho/1984.

- [7]. AZEVEDO NETO, J. M., "Cronologia do Tratamento de Agua", Revista DAE, vol. 39, n. 116, 1978.
- [8]. AZEVEDO NETO, J. M., "Cronologia dos Serviços de Esgotos, com especial menção ao Brasil", Revista DAE, Vol. 20, n. 33, abril/1959.
- [9]. AZEVEDO NETO, J. M., "Abastecimento de Agua de São Paulo (Esboço Histórico)", Revista DAE, n. 106, 1976.
- [10]. BISWAS, ASIT K., "History of Hidrology", North Holland Pub. Co., Amsterdam, 1970.
- [11]. ROBINS, F. W., "The Story of Water Supply", Oxford University Press, 1946.
- [12]. NIELSEN, L. S., "Standard Plumbing Engineering Design", McGraw - Hill Book Company, U.S.A., 1963.
- [13]. 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 Building Code Committee, U.S.A., July/1923.
- [14]. BUREAU OF STANDARDS - UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE, "Recommended Minimum Requirements for Plumbing", Report of Subcommittee on Plumbing of Building Code Committee; U.S.A., 1929.

- [15]. INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION (CIB), "Water Demand in Buildings", Proceedings of the Symposium (CIB commission W62) held at BRE, Garston, 19 and 20 September/1972.
- [16]. WISE, A. F. E., "Water, Sanitary and Waste Services for Buildings", 2a. edição, Batsford Academic and Educational Ltd, London, 1981.
- [17]. GONÇALVES, O. M., "Influência do Uso Simultâneo de Aparelhos Sanitários no Dimensionamento de Instalações Prediais de Água Fria", Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1978.
- [18]. LANDI, F. R. e MONTENEGRO, M. H. F., "Plumbing Systems in Brazil - Situation and Needs", CIB W62, Seminar 27 and 28 November, France, 1979.
- [19]. ROSRUD, T., "Sanitary Installations - Properties they ought to have - Performance requirements and quality testing for sanitary installations", Instruction 13, Norwegian Building Research Institute, Oslo, 1979.
- [20]. ACKOFF, R. L., "Redesigning the Future - A Systems Approach to Societal Problems", Wiley Interscience, 1974.

- [21]. WILY, R. S., GALOWIN, L. S., "An Approach to Performance Evaluation for Water Supply and Drainage for Buildings", Proceedings of the CIB Commission W62, Symposium, Drainage and Water Supply for Buildings, University of Glasgow, 1975.
- [22]. INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH, STUDIES AND DOCUMENTATION (CIB), "The Performance Concept and its Terminology", CIB Report n. 32, January-February/1975.
- [23]. ROSRUD, T., "Cost Benefit on Plumbing: Large Fringe Benefits for Sanitary Installations by Thorough Analysis of System". Proceedings of the CIB Commission W62, International Symposium on Water Supply and Drainage, Washington, D.C., 1976.
- [24]. ROSRUD, T., "Performance Requirements for Plumbing Systems", NBS Special Publication 361, Vol. 1: Performance Concept in Buildings, Proceedings of the Joint RILEM-ASTM-CIB Symposium, Philadelphia, Pennsylvania, May 2-5, 1972 (Issued March 1972).
- [25]. HUNTER, R. B., GOLDEN, G. E., e EATON, H. N., "Cross - Connections in Plumbing Systems", Journal of Research of the National Bureau of Standards, vol. 20, Washington, April/1938.

- [26]. HUNTER, R. E., GOLDEN, G. E., "Backflow Prevention in Over-Rim Water Supplies", Report BMS 28, National Bureau of Standards, Washington, 1939.
- [27]. COMMITTEE ON BACKSIPHONAGE IN WATER INSTALLATIONS, "Backsiphonage", London Her Majesty's Stationary Office, 1974.
- [28]. SABBATINI, F. H., MENDES, R. J. G., "Contaminação da Rede de Distribuição de Água Fria nas Instalações Prediais", seminário apresentado na disciplina PCC-703 - Instalações Hidráulicas Prediais, Escola Politécnica da USP, 1980.
- [29]. HENDERIECKX, F., VAN PEETERSSEN, E., "Bruit Produit par les Installations Sanitaires", C.S.T.C. Revue, n. 1, MARS/1981.
- [30]. DUPREY, B., "Prévention du Bruit dans les Installations Sanitaires", RAUC - Centre de Recherche D'Architecture D'Urbanisme et de Construction, Editions Eyrolles, Paris, 1974.
- [31]. WISE, A. F. E., "Design Factors for One-Pipe Drainage", The Royal Sanitary Institute Journal, vol. 74, n. 4, April/1954.

- [32]. ALESSI, G., "On Putrid Gases as Predisposing Causes of Typhoid Infection", Journal of Sanitary Institute, 16, 497 - 1895.
- [33]. REPORT OF DEPARTMENTAL COMMITTEE OF LOCAL GOVERNMENT BOARD, "Intercepting Traps in House Drains", H.M.S.O., London, 1912.
- [34]. WINSLOW, C. E. A. e GREENBERG, D., "The effect of Putrefactive Odours upon Growth and upon Resistance to Disease", American Journal of Public Health, 8, 1918.
- [35]. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, "Construction and Equipment of the Home" - Public Administration Service, Chicago, 1951.
- [36]. GASI, T. M. T., PROTA, M. G. et al, "Controle de Odores em Sistemas de Esgotos", Revista DAE, vol. 44, n. 137, junho/1984, São Paulo.
- [37]. TEALE, T. P., "Dangers au Point de Vue Sanitaire des Maisons Malconstruites", Ducher et Cie., Paris, 1882 (versão em francês da edição original em inglês de 1881).
- [38]. CROFT, J., "New Developments in Sanitary Engineering", The Sanitarian, paper n. 7, November/1955.



- [39]. WISE, A. F. E., "Drainage Pipework in Dwellings", London, H.M.S.O., 1957.
- [40]. WISE, A. F. E. e CROFT, J., "Investigation of Single-Stack Drainage for Multi-Storey Flats", Journal of the Royal Sanitary Institute, vol. 74, n. 9, pg. 797, September/1954.
- [41]. HOWICK, H. A., "The Sizing of Sanitary Pipework", The Institute of Plumbing, Publication n. XIV - 1972.
- [42]. COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION INC., "Copper Sovent - Single-Stack Plumbing System - Design Handbook", rev. 7/72, New York.
- [43]. COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION INC., "Copper Bras Bronze - Design Handbook - SOVENT - Single-Stack Plumbing System", 1980, New York.
- [44]. CONINE MANUFACTURING Co. INC. "Design Standard for Sovent Plumbing Systems", 1979, Tyler, U.S.A.
- [45]. GUSTAVSBERG - DIVISION VVS . "Gustavsberg's Water Saving Systems", Dec. 82, Stockholm, Sweden.
- [46]. ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) "Instalações Prediais de Esgotos Sanitários - NB-19", 1950.

- [47]. ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS).  
"Instalação Predial de Esgoto Sanitário" - Origem NB-19,  
1983.
- [48]. HANSLIN, R., NIELSEN, V. e WEBSTER, C. D. J., "Research  
Laboratories with CIB Interest", USNCCIB/CIB -  
International Symposium on Water Supply and Drainage,  
September 28.3, 1976, National Academy of Sciences,  
Washington D.C., U.S.A.
- [49]. STARBUCK, R. M., "Tratado de Instalaciones Sanitarias"  
Editora Gustavo Gili, 1923.
- [50]. BASTOS, F. A. A., "Problemas de Mecânica dos Fluidos",  
Editora Guanabara Dois S.A., 1983.
- [51]. STEELE, A., "Engineered Plumbing Design", Miramar  
Publishing Company, 1977.
- [52]. ALLEN, J. R., WALKER, J. H. e JAMES, J. W., "Heating and  
Air Conditioning", Mc Graw Hill Book Company Inc., 1946.
- [53]. PTACEK, J. e GILLAUME, M., "Efficacité des Colonnes de  
Ventilation par Tirage Naturel - Etude Expérimentale",  
C.S.T.C. - Revue, n. 4, Décembre/1977.

- [54]. C.S.T.C. - (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION), "Ventilation Mécanique Contrôlée - Code de Bone Pratique ", 1ère partie - Note d'Information Technique 106, Bruxelles, Mars/1975.
- [55]. EATON, H. N. e WYLY, R. S., "Frost Closure of Roof Vents in Plumbing Systems", BMS Report 142, NBS - National Bureau of Standards, 1954.
- [56]. C.S.T.C. - (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION), "Comportement à L'Humidité des Elements de Construction Application aus Toitures", C.S.T.C., Revue, n.1, Mars/1982.
- [57]. GARCEZ, L. N., "Elementos de Engenharia Hidráulica", Editora Edgard Blucher Ltda., 2a. Edição, 1969.
- [58]. CRISTIANSEN, J., "Characteristics of Traps", Proceedings of the CIB, Comission W62 Symposium, National Swedish Institute for Building Research, Stockholm, 1973.
- [59]. FRENCH, J. L. e EATON, H. N., "Self-Siphonage of Fixtures Traps", BMS Report 126, National Bureau of Standards, U.S.A., 1951.
- [60]. WISE, A. F. E., "Self-Siphonage in Building Drainage Systems", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 3, Vol. 3, n. 3, pg. 789 - 808, 1954.

- [61]. WISE, A. F. E., "Drainage Services in Buildings - a Review of Some Fluid Mechanics Aspects of the Subject", Building Research Establishment, Current Paper 35/73, U.K., 1973.
- [62]. KANASUGI, N. e KIYA, F., "A Study of Water Seal Loss by Self-Siphonage Action", Proceedings of the CIB, Commission W62 Seminar, Water Supply and Drainage for Buildings, Centre Scientifique et Technique de la Construction, Belgique, 1978.
- [63]. WAKELIN, R. H. M. e ADESANYA, D. A., "A Preliminary Study of Water Seal Loss from Basin Traps", Proceedings of the CIB, Commission W62 Seminar, Drainage and Water Supply for Buildings, CSTB, 1979.
- [64]. DOUGLAS, J. F., GASIOREK, J. M. e SWAFFIELD, J. A., "Fluid Mechanics", Pitman Publishing Limited, London, 1979.
- [65]. NEKRASOV, B., "Hydraulics", Peace Publishers, Moscow.
- [66]. MANAS, V. T., "National Plumbing Code Handbook", Mc Graw-Hill Book Company Inc, 1957.

- [67]. ROUSE, H., "Engineering Hydraulics - Proceeding of the Fourth Hydraulics Conference", Iowa Institute of Hydraulic Research, John Wiley & Sons, 1950.
- [68]. ROUSE, H., "Hidráulica - Mecânica Elemental de Fluidos", Editorial Dossat S.A., 1960.
- [69]. ALBERTSON, M. L., BARTON, J. R. e SIMONS, D. B., "Fluid Mechanics for Engineers", Prentice-Hall, I..., 1966.
- [70]. SCHLAG, A. e VAN PEETERSSEN, E., "Étude des Coupe-Air Sous l'Effet d'une Flutuation de Pression a l'aval", Proceedings of the CIB Comission W62 Symposium, Drainage Services in Building, Swedish Institute for Building Research, Stockholm, 1973.
- [71]. SCHLAG, A. et al, "Les Coupe-Air Etude de Leur Indésamorçabilité", Note d'Information Technique 81, CSTC, Bruxelles, 1970.
- [72]. ASANO, Y., KIYA, F., "Numerical Analysis for the Behavior of Seal Water in a Trap", Proceedings of the CIB Comission W62 Symposium, Water Supply and Drainage for Buildings, Centre Scientifique et Technique de la Construction, Bruxelles, 1978.

- [73]. ASPLUND, L. e OLSSON, E., "Assessment of a Stench Trap: a Mathematical Model", Proceedings of the CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Paris, 1979.
- [74]. ASANO, Y. e KIYA, F., "A Study on the Method of Evaluating the Discharge Characteristics of Water Closets", Proceedings of the CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Paris, 1979.
- [75]. SCHLAG, A., "Recherches Expérimentales sur l'Écoulement par Deversoir - Puits", La Huille Blanche, n. 2, Paris, 1969.
- [76]. STREETER, V. L., "Fluid Mechanics", Mc Graw Hill Book Company Inc., 1966.
- [77]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Étude des Conditions d'Écoulement dans les Colonnes. 1ère partie. Colonnes Rectilignes Alimentées par leur Sommet. Relation Entre le Débit d'Eau et la Charge Sur la Colonne". Bruxelles, Compte Rendu d'Étude et de Recherche du C.S.T.C., n. 14, 1972.
- [78]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Étude de Conditions d'Écoulement dans les Colonnes. 2ème partie. Colonnes Alimentées par leur Sommet et Comportant

un ou des Coudes. Relation Entre le Débit d'Eau et la Charge sur la Colonne", Bruxelles, Compte Rendu d'Etude et de Recherche du C.S.T.C., n. 14, 1973.

[79]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Etude des Conditions d'Ecoulement dans les Colonnes. 3ème partie. Conditions d'Entrée Particulières. Relation Entre le Débit d'Eau et la Charge sur la Colonne", Compte Rendu d'Etude et de Recherche du C.S.T.C., n. 14, 1973.

[80]. PINK, B. J., "Laboratory Investigation of the Discharge Characteristics of Sanitary Appliances", Building Research Establishment, Current Paper, CP 37/73, December, 1973.

[81]. DAUPHIN, P., FICHON G., "Etude des Conditions de Vidange des Appareils Sanitaires". Proceedings of the CIB Commission W62, Symposium held at the Danish Building Research Institute, September, 1974.

[82]. NIELSEN, V., "Discharge Characteristics of Sanitary Appliances - Description of Method for Measuring". Proceedings of the CIB Commission W62 Symposium held at the National Swedish Institute for Building Research, September, 1973.

[83]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION,  
"Etude Expérimentale des Conditions de Vidange des  
Appareils Sanitaires". Note d'information Technique 54,  
1965.

[84]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION,  
"L'Écoulement dans les Appareils Sanitaires". Note  
d'Information Technique 86, 1971.

[85]. HUNTER, ROY B., "Methods of Estimating Loads in Plumbing  
Systems", National Bureau of Standards, Building Materials  
and Structures Report, BMS65, 1940.

[86]. BURBERRY, P., "Hydraulics", Technical Study, Water Supply  
1, The Architects Journal Information Library 22, October,  
1969.

[87]. TORRES, A., "Redes Superiores de Esgotos de Edifícios de  
Habitação", Laboratório Nacional de Engenharia Civil,  
Curso de Promoção Profissional 508, Instalações de Águas e  
Esgotos em Edifícios de Habitação, vol. I, Lisboa, março,  
1977.

[88]. CHAKRABARTI, S. P., SHARMA S. K. e SHARMA S. K.,  
"Simultaneous Peak Load on Drainage System in Multistorey  
Residential Buildings for Intermittent System of Water  
Supply". Building and Environment, vol. 15, pp 95-100,  
Pergamon Press Ltd., 1980.



- [89]. WEBSTER, C. J. D., "An Investigation of the Use of Water Outlets in Multistoreys Flats". Building Research Station, Current Paper, CP. 4/72, Mars, 1972,
- [90]. COURTNEY, R.G., "A Multinomial Analysis of Water Demand", Building and Environment, vol 11, Pergamon Press, 1976.
- [91]. MOOD, A. M., GRAYBILL, F. A. e BOES D. C., "Introduction to the Theory of Statistics", Mc Graw Hill Kogakusha, Ltd., Third Edition, 1974.
- [92]. FELLER, W., "Introdução à Teoria das Probabilidades e suas Aplicações", Editora Edgard Blucher Ltda., 1976.
- [93]. DAVIDSON, F. J., COURTNEY, R.G., "Revised Scales for Sanitary Accomodation in Offices", Building and Environment, vol.11, n. 1, Pergamon Press, 1976.
- [94]. CHAKRABARTI, S. P., SHARMA S. K. e SHARMA S. K., "Peak Hydraulic Load on Intermittent Water Supply Systems in Multistoreyed Residential Buildings". Water supply and Drainage Services in Developing Countries, National Building Research Institute of the CSIR, Pretoria, South Africa, September, 1980.

- [95]. KIYA, F., "Water Consumption in Various Types of Buildings in Japan", Proceedings of the CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Paris, 1979.
- [96]. KONEN, T. P., BRADY 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.
- [97]. KONEN, T. P., "Modifying the Hunter Method", Plumbing Engineer, vol. 8, n. 6, November/December, 1980.
- [98]. KONEN, T. P., "Engineering Water Supply and Drainage Systems", Plumbing Engineer, vol. 12, n. 4, July/August, 1984.
- [99]. BRITISH STANDARDS INSTITUTION "Code of Practice of Sanitary Pipework", BS 5572, 1978.
- [100]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Règlement Sanitaire relatif à la Protection de l'Eau Potable et à l'Evacuation des Eaux des Batiments", Note d'Information Technique 114, 1977.

- [101]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Application Pratique du Règlement Sanitaire", Note d'Information Technique 120, 1978.
- [102]. HANSLIN, R. e PERRIER, F., "Hydraulique des Conduits de Raccordement des Appareils Sanitaires". Proceedings of the CIB Commission W62, Symposium held at the National Swedish Institute for Building Research, Stockholm, September, 1973.
- [103]. MAMBURG, J. P. e PERRIER, F., "Conception et Conditions d'Installation des Canalizations d'Evacuation". Proceedings of the CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, Seminar, Institut für Bautechnik, Berlin, September, 1981.
- [104]. DAWSON, F. M. e KALINSKE, A. A., "Report on Hydraulics and Pneumatics of Plumbing Drainage Systems". University of Iowa Studies in Engineering, Bulletin 10, 1937.
- [105]. WYLY, R. S. e EATON, H. N., "Capacities of Stacks in Sanitary Drainage Systems for Buildings", National Bureau of Standards, Monograph 31, Issued July 3, 1961 and Reprinted with corrections June 1965.
- [106]. WISE, A. F. E., "Aerodynamics Studies to Aid Drainage Stack Design". Institution of Public Health Engineer's Journal, n. 56, January, 1957.

- [1071]. VERMA, N. K., CHAKRABARTI, S. P. e KHANNA, P., "Modified One-Pipe System of Drainage for Tall Buildings". Building and Environment, vol. 11, Pergamon Press, 1976, p. 197-201.
- [1081]. CHAKRABARTI, S. P., VERMA, N. K. e KHANNA, P., "Limiting Capacities of Drainage Stack in Tall Buildings" Building and Environment, vol. 13, Pergamon Press, 1978, p. 47-50.
- [1091]. SHARMA, SUKESH K., CHAKRABARTI S. P. e KHANNA, P., "Analitical Model for Unvented Drainage System in Buildings". Building and Environment, vol. 16, n. 12, Pergamon Press, 1981.
- [1101]. SHARMA, SUKESH K., CHAKRABARTI S. P. e KHANNA, P., "Analitical Model for Partially-Vented Drainage System in Buildings". Building and Environment, vol. 16, n. 4, Pergamon Press, 1981.
- [1111]. SUBRAMANYA, K., "Flow in Open Channels - vol. 1." Mc Graw Hill, 1982.
- [1112]. VIPARELLI, M., "Transporto di Aria da Parte di Corrente Idriche in Condotti Chiusi". L'Energia Elettrica, n. 11, vol. XXXI, Novembre, 1954.

- [1133]. CUOMO, A. R., "Entrainement d'Air par un Ecoulement Denoyé en Puits Verticaux Avec Deversoir Circulaire". XVI Congresso da IAHR, vol. 3, p. 319-324, São Paulo, 1975.
- [1141]. CUOMO, A. R., "Arrastamento de Ar em Poços com Embocadura Tipo Tulipa". Boletim Técnico DAEE., vol. 4, n. 2, São Paulo, mai/ago, 1981.
- [1151]. CUOMO, A. R., SOUZA, F. A. e OLIVEIRA, D. D., "Arrastamento de Ar em Vertedores Circulares com Poço Vertical". Anais do Simpósio Luso-Brasileiro sobre Simulação e Modelação em Hidráulica, vol. 1, Blumenau, 1983.
- [1161]. OLIVEIRA, D. D., "Extravasores Tipo Tulipa - Estudo Teórico Experimental". Dissertação de Mestrado Apresentada à Escola Politécnica da USP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia, São Paulo, 1984.
- [1171]. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "La remontée de mousses dans les Installations Sanitaires". Note d'information Technique, 96, 1972.
- [1181]. GONÇALVES, O. M., e GRAÇA, M. E. A., "O Retorno de Espuma nas Instalações Prediais de Esgotos Sanitários". Revista de Engenharia Mackenzie, Edição 169, jul/ago. 1984.

- [119]. WYLY, R. S., "Investigation of the Hydraulics of Horizontal Drains in Plumbing Systems" National Bureau of Standards, Monograph 86, 1964.
- [120]. SWAFFIELD, J. A., BOKOR S. D., "Application of Laboratory Test Techniques to Building Drainage Design". Proceedings of Drainage and Water Supply for Buildings - Seminar on Current Research and Future Needs and Objectives, Brunel University, Uxbridge, England, 1980.
- [121]. SWAFFIELD, J. A., BRIDGE S. A., "Wave Attenuation in Long Drainage Pipes, A Numerical Solution to the Unsteady Partially Filled Pipe Flow Equations" Proceedings of the CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, Seminar, Institut für Bautechnik, Berlin, September, 1981.
- [122]. SWAFFIELD, J. A., MARRIOT, B. S. T., "An Investigation of the Effect of Reduced W.C. Flush on the Transport of Solids in Above Ground Drainage Systems", Proceedings of the CIB Commission W62, Water Supply and Drainage for Buildings, CSTC, Brussels, 1978.
- [123]. SWAFFIELD, J. A., WAKELIN, R. H. M., "A Study of the Interaction of Drainage System Loading and Reduced Flush W.C. Operation" Proceedings of the CIB Commission W62, Drainage and Water Supply for Buildings, CSTB, Paris, 1979.

- [124]. SWAFFIELD, J. A., "A Study of the Effect of Water Conservation on W.C. Discharge and Drainage System Transport Efficiency". The Public Health Engineer, vol. 8, n.3, 1980.
- [125]. SWAFFIELD, J. A., "Building Drainage System Research: Past Influences Current Efforts and Future Objectives". Construction Papers, vol n. 1, 1981.
- [126]. SWAFFIELD, J. A., "Application of Method of Characteristics to Model the Transport of Discrete Solids in Partially-Filled Pipe Flow". NBS, Building Science Series, 139, 1982.
- [127]. SWAFFIELD, J. A., BRIDGE, S. e GALOWIN, L. S., "Unsteady Flow in Long Drainage Systems". Batiment International, The Journal of CIB, January/February, 1983.
- [128]. SWAFFIELD, J. A., e WAKELIN, R. H. M., "Evaluation of the Solid Transport Performance of the SIBR/IFO Pour Flush Squat Plate Design". Brunel Industrial Services Bureau, Report Contract n. 811, 1983.
- [129]. BUILDING RESEARCH STATION, "Soil and Waste Pipe Systems for Housing". Digest 80 (second series), March, 1967.

[130]. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, "Soil and Waste Pipe Systems for Office Buildings". Digest 115, March, 1970, Minor Revisions, 1974.

[131]. LILLYWHITE, M. S. T. e WISE, A. F. E., "Towards a General Method for the Design of Drainage Systems in Large Buildings". Building Research Station, Current Paper CP 27/69, August, 1969.