



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II – CAMPINA GRANDE

DESENVOLVIMENTO DE REGULADOR DE PRESSÃO PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

EXÍDIO HIPÓLITO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

CAMPINA GRANDE

ABRIL - 1992

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

DESENVOLVIMENTO DE REGULADOR DE PRESSÃO PARA SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO

Por

EXIDIO HIPOLITO SANCHEZ SANCHEZ
Engenheiro Agrícola

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

ABRIL.- 1992

S199d Sanchez, Exidio Hipolito Sanchez
Desenvolvimento de regulador de pressao para sistemas de irrigacao / Exidio Hipolito Sanchez Sanchez. - Campina Grande, 1992.
97 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Metodo de Irrigacao 2. Irrigacao 3. Irrigacao Pressurizada 4. Recursos Hidricos 5. Engenharia de Irrigacao 6. Engenharia Civil 7. Dissertacao I. Azevedo, Hamilton Medeiros de, M.Sc. II. Sampaio, Francisco Monte Alverne de Sales III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 626.84(043)

**DESENVOLVIMENTO DE REGULADOR DE PRESSÃO PARA SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO**

EXIDIO HIPOLITO SANCHEZ SANCHEZ

DESENVOLVIMENTO DE REGULADOR DE PRESSÃO PARA SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HIDRICOS

SUB-ÁREA: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO

ORIENTADORES: HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

FRANCISCO MONTE ALVERNE DE SALES SAMPAIO

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

ABRIL - 1992

DESENVOLVIMENTO DE REGULADOR DE PRESSÃO PARA SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO

EXIDIO HIPOLITO SANCHEZ SANCHEZ
ENGENHEIRO AGRICOLA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10 DE ABRIL DE 1992

COMISSÃO:



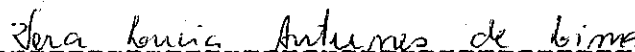
HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO - MSc

PRESIDENTE



CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO - Doutor

EXAMINADOR



VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA - MSc

EXAMINADORA

CAMPINA GRANDE - PB

ABRIL - 1992

"CADA UM CONSTRÓI, DIA POR DIA, HORA POR HORA,
MUITAS VEZES SEM MESMO O SABER, O SEU PROPRIO
FUTURO. A SORTE QUE NOS CABE NA VIDA ATUAL FOI
PREPARADA PELAS NOSSAS AÇÖES ANTERIORES; DA
MESMA FORMA, EDIFICAMOS NO PRESENTE AS
CONDIÇÖES DA EXISTENCIA FUTURA"

LEON DENIS

A minha mãe BERNARDINA, incansável
na luta pelo desenvolvimento moral
e intelectual dos seus filhos

MINHA HOMENAGEM

A minha família

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela minha vida e a força para lutar.

Ao professor HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO, pela sugestão do tema, orientação objetiva, dedicada e o constante apoio que me brindou durante todo o curso.

Aos professores FRANCISCO MONTE ALVERNE DE SALES SAMPAIO, JOSE DANTAS NETO, ANA MARIA VILAR C. CATÃO e VERA LUCIA A. DE LIMA, pela amizade, colaboração e sugestões apresentadas.

Ao professor HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA, pela solidária e sincera amizade, bem como pelos ensinamentos de Física dos Solos e Relação Água-Solo-Planta.

Ao Professor FRANCISCO ANTONIO MORAIS DE SOUSA, do Departamento de Matemática e Estatística da UFPB, pela valiosa contribuição na fase de análises estatística dos dados.

Ao PRONI/CNPq pelo apoio financeiro.

A Campina Grande Industrial S. A. - CANDE, na pessoa do Engenheiro MARCUS V. RIQUE DE OLIVEIRA, pelo apoio e fabricação dos Reguladores de Pressão usados neste trabalho.

A UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB, CAMPUS II, pela formação acadêmica do mestrado.

A CRUZ RAMON M. CENTENO, JORGE ANTONIO C. PALMA e

THOMAS HENRIQUE DE A. ALMEIDA, pela valiosa contribuição, na fase de testes de laboratório.

A VANDA MARIA DE LIRA, pelo carinho, apoio e estímulo à realização deste trabalho.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, JOSE BEZERRA, JOSE VANDERLAN, JOSE GERALDO, ALBERTO DEGLSTON, MANOEL FERREIRA, EUCLIDENOR e GIUCELIA, pelo companheirismo, convivência e amizade.

A meu irmão LUCAS SANCHEZ, pelo apoio, compreensão e incentivo.

A EVELYN ELIZABETH HERNANDEZ, e meus filhos ADRIAN PAULO E AYRTON ENRIQUE, pela compreensão, carinho, apoio e incentivo.

Enfim, a todos os professores do Curso de Pós-Graduação, funcionários do Laboratório de Engenharia de Irrigação (LEI) e amigos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

INDICE

	PAGINA
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xii
ABSTRACT	xii
CAPITULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRAFICA	3
1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE PLACA DE ORIFÍCIO	3
2 - PRINCÍPIO TEÓRICO.....	5
3 - PERDAS DE CARGA NUM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	9
4 - EFICIÊNCIA NUM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO...	20
CAPITULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	28
1 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	28
2 - DESCRIÇÃO DO APARELHO EXPERIMENTAL....	28
3 - DESCRIÇÃO DO REGULADOR DE PRESSÃO	30
4 - DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS	30
4.1 - DETERMINAÇÃO DA VAZÃO	34
4.2 - DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO	34
5 - EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA	36

PAGINA

CAPITULO IV - RESULTADOS E DISCUSSOES	39
1 - APARELHO EXPERIMENTAL	39
2 - PERDA DE CARGA DO REGULADOR DE PRESSAO.	40
3 - EQUAÇÃO CARACTERISTICA	41
4 - RELAÇÕES CARACTERISTICAS DO REGULADOR DE PRESSAO	49
CAPITULO V - CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63
APENDICE A	67
APENDICE B	69
APENDICE C	80
APENDICE D	91
APENDICE E	94

LISTA DE TABELAS

TABELAS	PAGINA
2.1 - Valores de α e K_v em Função de S/S_1 (GARCEZ, 1977).	16
2.2 - Valores de K_v para Vários Graus de Fechamento da Válvula de Gaveta (GARCEZ, 1977).....	18
2.3 - Valores de K_v para Vários Graus de Abertura para Válvulas Borboletas (GARCEZ, 1977).....	18
4.1 - Coeficiente de Correlação de Perda de Carga versus Vazão para as Regressões Linear, Exponencial, Logarítmico e Potencial	42
4.2 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 16mm, Instalado na Tubulação de 50mm ...	43
4.3 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 16mm, Instalado na Tubulação de 50mm.	43
4.4 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, Instalado na Tubulação de 50mm ...	43
4.5 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, Instalado na Tubulação de 50mm.	44

TABELAS	PAGINA
4.6 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, Instalado na Tubulação de 50mm ...	44
4.7 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, Instalado na Tubulação de 50mm.	44
4.8 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 28mm, Instalado na Tubulação de 50mm ...	45
4.9 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 28mm, Instalado na Tubulação de 50mm.	45
4.10 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 32mm, Instalado na Tubulação de 50mm ...	45
4.11 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 32mm, Instalado na Tubulação de 50mm.	46
4.12 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, Instalado na Tubulação de 75mm ..	46

TABELAS	PÁGINA
4.13 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, Instalado na Tubulação de 75mm.	46
4.14 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, Instalado na Tubulação de 75mm...	47
4.15 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, Instalado na Tubulação de 75mm.	47
4.16 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 30mm, Instalado na Tubulação de 75mm ..	47
4.17 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 30mm, Instalado na Tubulação de 75mm.	48
4.18 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 36mm, Instalado na Tubulação de 75mm ..	48
4.19 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 36mm, Instalado na Tubulação de 75mm.	48

TABELAS

PÁGINA

4.20 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 42mm, Instalado na Tubulação de 75mm ...	49
4.21 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 42mm, Instalado na Tubulação de 75mm.	49
4.22 - Equações e Coeficiente de Determinação das Relações de Perda de Carga versus Vazão para os Diferentes Reguladores de Pressão Testados.....	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
2.1 - Representação Gráfica do Teorema de Bernoulli.....	4
2.2 - Gráfico Comparativo da perda de Carga provocada por Diferentes Medidores de Vazão	8
2.3 - Diagrama para obter Perda de Carga Devido a Obstruções e Válvulas em Tubulações	13
2.4 - Registros mais Usados, segundo GARCEZ (1977) a) Gaveta, b) de Globo e c) de Borboleta	17
2.5 - Efeitos de Diferentes Pressões na Distribuição da Precipitação de um Aspensor	22
2.6 - Distribuição de Pressões numa Subunidade de Irrigação Localizada num Terreno em Nível	24
2.7 - Distribuição de Pressão num Sistema de Irrigação por Aspensão	25
2.8 - Curva de Distribuição de pressão ao Longo de uma Linha Lateral	27
3.1 - Diagrama do Equipamento Experimental	29
3.2 - Disposição do Regulador de pressão no Experimento .	32
3.3 - Detalhe do Regulador de Pressão Dentro do Engate Rápido	33

FIGURA	PAGINA
3.4 - Disposição do Manômetro à Montante (Direito) e o Primeiro Manômetro à Jusante (Esquerdo)	33
3.5 - Disposição dos Rotâmetros em Paralelo no Equipamento Utilizado no Experimento	35
3.6 - Tomadas de Pressão à Montante e à Jusante do Regulador de Pressão	37
4.1 - Representação Gráfica das Equações Estimadas de Perda de Carga versus Vazão provocada pelos Reguladores de Pressão, testados no Tubo de 50mm ..	51
4.2 - Representação Gráfica das Equações Estimadas de Perda de Carga versus Vazão provocada pelos Reguladores de Pressão, testados no Tubo de 75mm ..	52
4.3 - Quantificação do Erro Percentual entre as Equações de COSTA e a Obtida no Experimento no Tubo de 50 mm	56
4.4 - Diferença entre os Valores dado pela Equação de COSTA e os Dados Experimentais, no Tubo de 50 mm ..	57
4.5 - Quantificação do Erro Percentual entre as Equações de COSTA e a Obtida no Experimento no Tubo de 75 mm	59
4.6 - Diferença entre os Valores dado pela Equação de COSTA e os Dados Experimentais, no Tubo de 75 mm ..	60

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e estudar hidraulicamente um dispositivo regulador de pressão para ser usado nos sistemas de irrigação pressurizados. Os testes foram realizados no Laboratório de Engenharia de Irrigação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande-PB. No experimento usaram-se tubos de PVC PN 80, de engate rápido com diâmetro de 50 e 75mm. O dispositivo foi confeccionado em placa de PVC com orifício concêntrico instalado no engate rápido dos tubos, submetidos a diferentes pressões e vazões. Foram ajustados modelos por meio de regressão simples, uma equação característica de perda de carga versus vazão para cada regulador testado. Nas condições em que foram realizados os testes, os resultados permitiram as seguintes conclusões: a pressões de entrada não influenciaram a perda de carga que cada regulador é capaz de provocar; quando comparados os resultados com aqueles fornecidos pela equação proposta por COSTA (1987) mostraram-se inferiores, concluindo-se, portanto, que esta equação superestima os valores de perda de carga reais; o dispositivo mostrou-se viável, provocando perda de carga de até 92% da pressão disponível a sua montante, podendo ser usada como dissipador de energia nos sistemas de irrigação pressurizados.

ABSTRACT

Laboratory tests were conducted to develop and study hydraulically a pressure regulator for irrigation systems. The regulator was made on PVC, installed on 50 and 75mm diameter PVC irrigation lines fast fit and submitted to different water pressures and flows. The characteristic curve of the hydraulic head losses versus water flow were adjusted by simple regression. This model was used for each tested regulator. For the condition of the experiment, the following conclusions can be drawn out. The entry pressure did not affect the water head loss that each regulator produced. When compared, the results obtained were inferior to those simulated by COSTA (1987), concluding that this equation overestimate the real water pressure losses. The regulator seems to be a good energy dissipator, provoking head losses as great as 92% of the available pressure.

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A irrigação nas regiões áridas e semi-áridas constituiu-se num valioso aliado cuja importância iguala-se à da adubação do controle de ervas daninhas, doenças e pragas, e da drenagem. A prática da irrigação não funciona em separado, mas integrada com outras operações agrícolas, de forma benéfica ou prejudicial, dependendo do grau de preparo técnico de quem a executa (WITERS & VIPOND, 1988).

Uma das grandes preocupações dos pesquisadores está em inovar técnicas baratas e de fácil aplicação que permitam melhorar a eficiência nos diferentes sistemas de irrigação. Entre os diferentes parâmetros que influenciam na eficiência, o que se destaca é a uniformidade da lâmina de água que está sendo aplicada ao solo, pois quanto mais uniforme for a lâmina, maior será a eficiência da irrigação, independentemente do método adotado.

Nos sistemas de irrigação pressurizados, a variação de pressão provocada pelo desnível e perda de carga por atrito nas tubulações principal e secundárias geralmente, ultrapassam

a variação de pressão admissível. Em consequência deste fato torna-se necessário o uso de dispositivos de controle de pressão, capazes de dispersarem os excessos de carga hidráulica ao longo da tubulação de condução, possibilitando o fornecimento da pressão determinada para o funcionamento dos equipamentos do sistema (BERNARDO, 1986).

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e estudar hidraulicamente um dispositivo regulador de pressão para se obter uma melhor uniformidade de pressão nos sistemas de irrigação pressurizada.

Desta forma objetiva-se especificamente:

- Determinar, em laboratório, a perda de carga que o regulador provoca em função da pressão de entrada e vazão.
- Ajustar uma equação que descreva a relação Perda de Carga versus Vazão.
- Fornecer uma alternativa simples e de baixo custo que possibilite ao projetista garantir pressões aproximadamente iguais nas linhas laterais, nos sistemas de irrigação por aspersão e nas terciárias na irrigação localizada.

CAPITULO I I

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE PLACAS DE ORIFICIOS

Segundo COELHO (1983) as placas de orifícios têm sido largamente usadas na hidráulica para medir vazões, sendo que esse fenômeno baseia-se na lei da variação de pressão dos fluidos nos condutos de seções de escoamento estrangulados.

Venturi (1797) citado por DELMEE (1982) verificou que, se intercalar numa tubulação uma redução de seção, o fluido ganha em velocidade, havendo uma transformação transitória de energia potencial em energia cinética (ver Fig. 2.1).

Herschel (1887) citado por SPINK (1972) construiu e aplicou com êxito em usinas hidroelétricas tubos estrangulados que denominou de Tubos Venturi, verificando que as observações de Venturi eram válidas para todos os diâmetros de tubulações usuais na época e, comprovou que, para determinados modelos, a perda de carga real do medidor era praticamente insignificante.

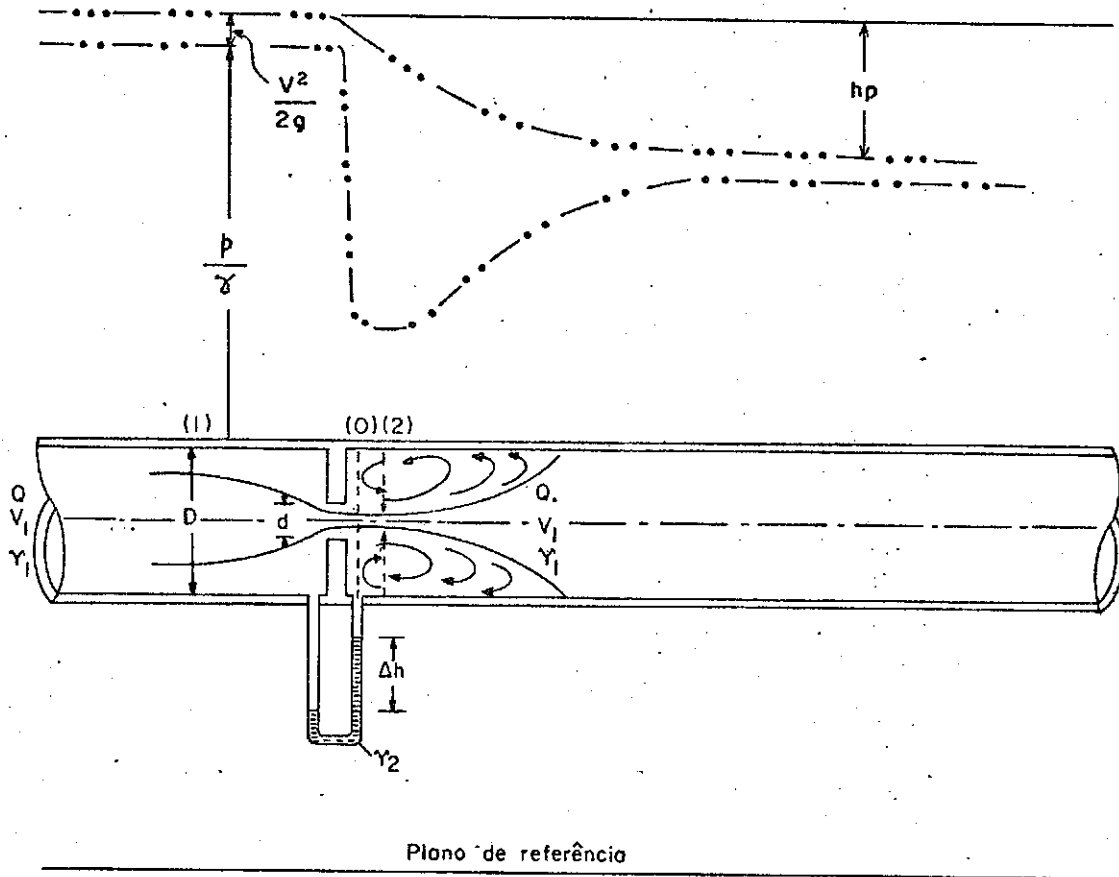


Figura 2.1 - Representação Gráfica do Teorema de Bernoulli

A história de placas de orifícios começou industrialmente em 1903, na Pensilvânia (EUA) quando T. R. Weymonth desenvolveu uma placa com tomadas de pressão localizadas: a 1" à montante, e 1" à jusante da placa (flange taps) para medir vazões de gás natural; sendo que os resultados desse trabalho foram publicados pela American Gas Association em 1935 (DELMEE, 1982).

SPINK (1972) relata que na Europa, os trabalhos principais sobre placas de orifícios, bocais e tubo venturi concentram-se nos anos de 1900 a 1940; sendo que os trabalhos mais conhecidos são os de Rateau (1895) sobre bocais; as do Dr. Witte sobre placas de orifício e bocais, de Schlag (1934) sobre venturi-bocal, de Camichel (1933) sobre tubo venturi, de Rissler (1932) sobre bocal para vapor, e de Duchêne (1933) sobre placa de orifício para gases.

2 - PRINCÍPIO TEÓRICO

CORONEL (1947) ADDISON (1950) VENNARD (1978) e outros, citam que para se estabelecerem as leis da hidráulica, tem-se recorrido a determinado elemento geométrico que idealiza as condições reais em que se efetua o fluxo, a fim de se poder aplicar as leis da mecânica. Sendo que essa figura geométrica é chamada de "Tubo de Corrente" ou simplesmente de "Filete Líquido".

Aplicando o teorema de Bernoulli entre as seções (1) e (2) da Figura 2.1, em que as linhas de corrente são

paralelas, tem-se:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\varrho} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\varrho} + Z_2 \quad \text{Eq. 2.1}$$

Considerando Z_1 e Z_2 no mesmo plano, a Eq. 2.1 simplificada será:

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\varrho} \quad \text{Eq. 2.2}$$

onde P_1 e P_2 são as pressões nas seções antes da contração e na contração, respectivamente, e ϱ é o peso específico do fluido.

Aplicando-se a equação da continuidade entre as seções (1) e (2) tem-se:

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad \text{ou}$$

$$V_2 = V_1 \cdot A_1 / A_2 \quad \text{Eq. 2.3}$$

Substituindo as equações 2.3 em 2.2, tem-se:

$$V_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] = 2g \frac{P_1 - P_2}{\varrho} \quad \text{Eq. 2.4}$$

usando o símbolo $m = d/D$ para representar a relação dos diâmetros do orifício (d) e diâmetro interno da tubulação (D) e estabelecendo que:

$$m^2 = \frac{A_2}{A_1} \quad \text{e} \quad E = \frac{1}{(1 - m^4)^{1/2}}$$

onde: E representa o fator de velocidade de aproximação,

deduz-se que,

$$V_1 = \frac{2g (P_1 - P_2)}{\sigma (1/m^4 - 1)} \quad \text{Eq. 2.5}$$

ou, ainda,

$$V_1 = E m^2 \frac{2g/\sigma \cdot (P_1 - P_2)}{\sigma} \quad \text{Eq. 2.6}$$

em termos de vazão:

$$Q = A_1 E m^2 \frac{2g/\sigma \cdot (P_1 - P_2)}{\sigma} \quad \text{Eq. 2.7}$$

ou

$$Q = A_2 E \frac{2g/\sigma \cdot (P_1 - P_2)}{\sigma} \quad \text{Eq. 2.8}$$

DELMEE (1982) afirma que a Eq. 2.8 representa a vazão teórica, pois é baseado como se não acontecesse nenhuma perda de carga entre as duas seções, onde as pressões são medidas e que elas são médias. Não entanto, na prática, ocorrem perdas, e as pressões medidas não podem ser considerada as médias devido à não uniformidade da distribuição na tubulação. O referido autor afirma que, como resultado desses dois fatores, o valor da diferença de carga medida é ligeiramente maior que a real. Na Figura 2.2 apresenta-se a perda de pressão para distintos medidores. A razão entre a vazão real e o calculado pela Eq. 2.8 é conhecida como Coeficiente de descarga e é representado por C_d .

Logo a vazão real será dado por:

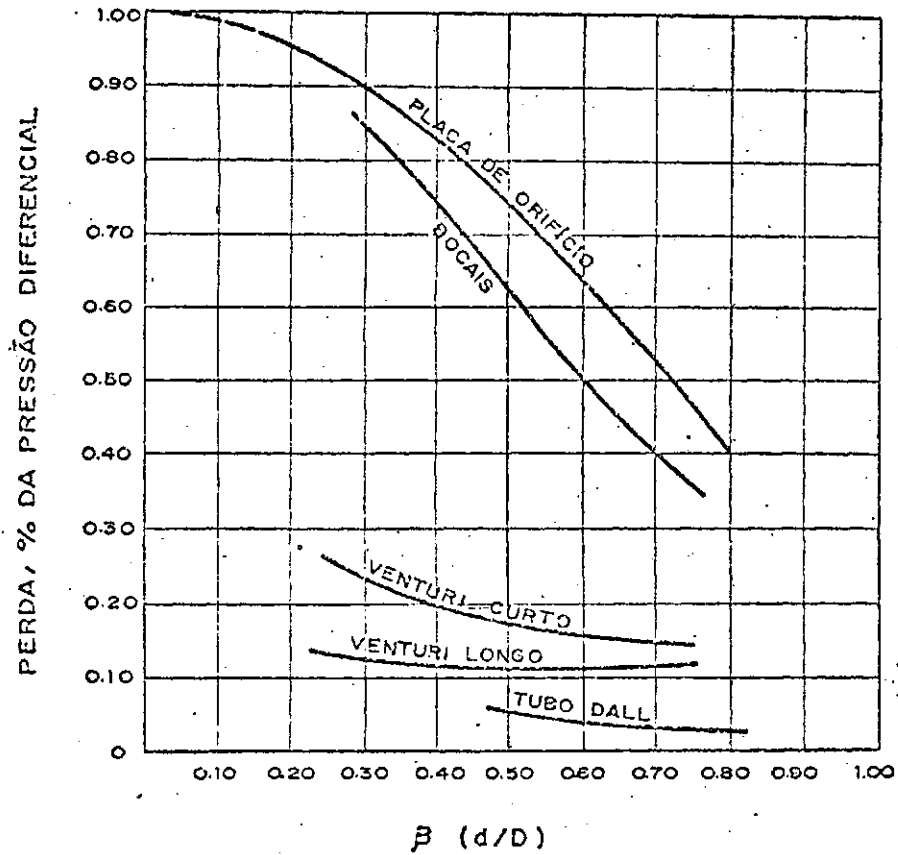


FIGURA 2.2 - Gráfico Comparativo da Perda de Carga Provocada por Diferentes Medidores de Vazão (COELHO, 1983)

$$Q = C_d A_{22} E \sqrt{2g/h} \cdot (P_1 - P_2) \quad \text{Eq. 2.9}$$

Chamando $C = C_d A_{22} E / \sqrt{2g}$ e $h = P_1 - P_2$, tem-se:

$$Q = C \sqrt{2gh} \quad \text{Eq. 2.10}$$

3 - PERDAS DE CARGA NUM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

De acordo com NETTO (1982) HWANG (1984) e BERNARDO (1986) sempre que a água flui de um ponto para outro, dentro de uma tubulação, existe uma certa perda de energia, comumente denominada de perda por atrito ou perda de carga. Afirmam, ainda, que quando o escoamento se faz em regime turbulento, a resistência ao escoamento é atribuída às forças de viscosidade e de inércia, e, que a rugosidade das paredes da tubulação é diretamente proporcional à turbulência do fluxo e, em consequência, maior será a perda de carga.

Segundo o teorema de Bernoulli, em todo líquido perfeito, a soma das três alturas: geométrica, piezométrica e dinâmica, permanece constante ao longo de um fluido, mas isto não é verdade para líquidos viscosos. Nestes, o somatório das cargas vai decrescendo gradativamente ao longo da linha de fluxo, devido a que uma parte se converte em calor, provocando a chamada perda de carga. NETTO (1982) recomenda para não confundir essa perda irreversível, já que se converte em energia térmica, com as transformações recíprocas das três alturas que figuram no teorema de Bernoulli. Cada um dos termos

da equação representa uma forma de energia:

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Energia Cinética ou de velocidade}$$

$$\frac{P}{\rho} = \text{Energia de pressão ou piezométrica}$$

$$Z = \text{Energia de posição ou potencial}$$

$$h_f = \text{Perda de carga (energia dissipada sob a forma de calor).}$$

De acordo com BERNARDO (1986) num sistema de irrigação ocorrem dois tipos de perda de carga, uma que acontece ao longo da tubulação e a outra que representa as perdas localizadas. O referido autor salienta que existem diversas fórmulas para o cálculo das perdas de carga ao longo de uma tubulação, mas existem três que são mais usadas:

- a) Equação de Hazem-Williams
- b) Equação de Manning
- c) Equação de Darcy-Weisbach

HWANG (1984) reporta que a perda de carga numa tubulação (h_f) é provocada pelo atrito contra as paredes e a dissipação devido à viscosidade do líquido em escoamento. Muitos estudos e pesquisas foram realizados no século passado, procurando estabelecer as leis que regem as perdas de energia, chegando-se à conclusão de que a resistência ao escoamento numa tubulação é:

- . Independente da pressão a que o líquido é submetido em seu escoamento;

- . Diretamente proporcional ao comprimento, L;
- . Inversamente proporcional à certa potência da velocidade, V;
- . Relacionada à rugosidade da tubulação, se o escoamento for turbulento.

Weisbach citado por FORCHHEIMER (1950) tratou de expressar a perda de carga por monômios da forma $n v^2/2g$, sendo que n é chamado de coeficiente de resistência. Considerando tanto a perda de carga como a desigual distribuição de velocidade numa seção transversal, o teorema de Bernoulli ficaria:

$$\alpha \frac{v^2}{2g} + Z + \frac{p}{\rho} + n \frac{v^2}{2g} \quad \text{Eq. 2.11}$$

Para NEVES (1986) as perdas localizadas ou acidentais são provocadas por mudanças de direção ou conexões como: joelho, tês, registros, reduções, etc. Sendo que essas perdas são relativamente importantes no caso de canalizações curtas com peças especiais; nas canalizações longas, seu valor é frequentemente desprezível, comparado ao da perda pela resistência ao escoamento.

ADDISON (1950) afirma que a perda de carga provocada por um orifício, ou de um diafragma numa tubulação, deve-se à formação de redemoinhos após expansão da veia líquida, ao ultrapassar a seção contraída C_c .a, imediatamente após o orifício para ocupar toda a seção completa de A do tubo, sendo v a velocidade no tubo, a equação de perda de carga (h_p) será

dada por:

$$h_p = \frac{[(v.A/C_c.a) - v]^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} \left(\frac{A}{C_c.a} - 1 \right)^2 \quad \text{Eq. 2.12}$$

em que, C_c é o coeficiente de contração e "a" a seção do orifício. O mesmo autor sugere que para cálculos aproximados, pode considerar-se C_c o valor de 0,65.

ADDISON (1950) afirma que a veia contracta forma-se à distância aproximadamente de meio diâmetro após o orifício. Ainda afirma que, de numerosos experimentos, tem-se deduzido, que para orifício de diâmetro ≥ 6 cm e a carga ≥ 45 cm o coeficiente de descarga C_d para a água à temperatura ambiente tem valor de aproximadamente 0,597.

Segundo CORONEL (1947) ADDISON (1950) e COSTA (1987) o meio mais eficaz de reduzir energia de uma corrente ao longo de uma tubulação, consiste em dissipar o excesso de energia, provocando movimentos turbulentos muito intensos, empregando para isso, diafragma perfurado com uma superfície dada de saída, ou, intercalando-se uma válvula cuja abertura seja regulável. A Figura 2.3 mostra um diagrama construído por CORONEL (1947) para obter a perda de carga provocada por um diafragma, ou abertura equivalente de uma válvula. Os referidos autores afirmam que isso poderia ser usado para regular a vazão, regular a pressão, ou ambas ao mesmo tempo.

VENNARD & STREET (1978) salientam que experiências realizadas com água (em número de Reynolds elevado) indicam que as perdas menores variam aproximadamente com o quadrado da

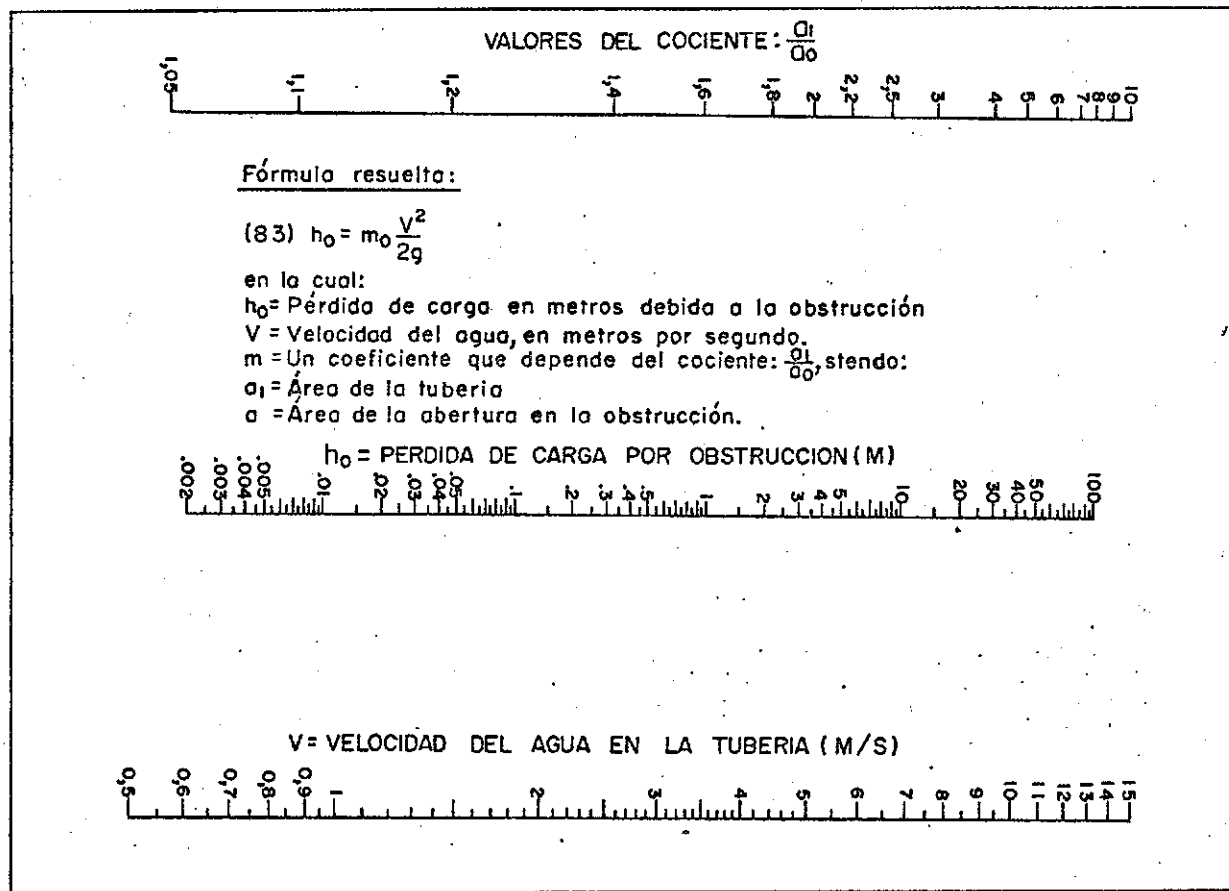


FIGURA 2.3 - Diagrama para Obter Perda de Carga Debido a Obstruções e Válvulas em Tubulações (CORONEL, 1947)

velocidade e propõem a equação básica seguinte:

$$h_1 = k_1 \frac{v^2}{2g} \quad \text{Eq. 2.13}$$

onde, k_1 , o coeficiente de perda, e, para cada dado geométrico do escoamento quase constante para número de Reynolds elevados, o coeficiente de perda tende a crescer com a rugosidade e decresce com o número de Reynolds, porém essas variações são usualmente de importância menor no escoamento turbulento.

STREETER (1978) salienta que se pode utilizar válvulas para controlar a vazão num sistema por meio de sua abertura. O obturador da válvula introduz perdas no sistema, geralmente proporcionais ao quadrado da vazão, conforme a equação:

$$KV^2/2g \quad \text{Eq. 2.14}$$

onde k é função principalmente da abertura da válvula. Para uma válvula fechada K é infinito. Como a vazão e a pressão (ou perda de pressão) estão relacionadas num sistema, pode-se controlar a vazão por um controle adequado de pressão. O referido autor ainda classifica as válvulas em duas categorias: válvulas de interrupção e válvulas de controle. Uma válvula de interrupção está completamente aberta ou fechada, como por exemplo, uma válvula de gaveta. Uma válvula de controle opera no sentido de estrangular o fluxo ao introduzir perdas no sistema. Para ser uma boa válvula de controle, deve suportar a ação erosiva do fluido, passando em alta velocidade através de sua abertura, devendo, também, ser

sensível ao movimento da haste em todo o campo de operação.

SPINK (1972) e VARNIEREN (1986) afirmam que, quando ocorre um alargamento abrupto da secção reta numa tubulação, processa-se uma rápida desaceleração do fluido acompanhada pela formação de uma característica turbulência de grande escala, a qual pode persistir por uma distância equivalente a 50 diâmetros do tubo, depois do qual a turbulência normal é restaurada no escoamento estabelecido.

HWANG (1984) afirma que as válvulas são instaladas nas tubulações para controlar a vazão pela introdução de elevadas perdas de carga, além, naturalmente, de seu emprego para bloquear totalmente a passagem do líquido, quando necessário. Dependendo do tipo de válvula dissipa-se uma maior ou menor quantidade de energia, mesmo quando se encontra inteiramente aberta. A perda de carga de uma válvula pode, também, ser expressa em função da altura da velocidade no tubo:

$$h_v = K_v \cdot V^2 / 2g \quad \text{Eq. 2.15}$$

onde, o valor de K_v depende do tipo e modelo da válvula.

Segundo GARCEZ (1977) a perda de carga provocada por um diafragma (h_d) de secção circular, de diâmetro d e secção S_1 coaxial com um conduto de diâmetro D e secção S (ver Figura 2.1) é expressa por:

$$h_d = \left[\left(\frac{S}{\alpha S_1} - 1 \right)^2 + \frac{1}{9} \right] \frac{V^2}{2g} = K_d \frac{V^2}{2g} \quad \text{Eq. 2.16}$$

sendo α o coeficiente de contração da veia, função da relação S/S_1 .

TABELA 2.1 - Valores de α e K_v em função de S/S_1 (GARCEZ, 1977)

S/S_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
α	0,625	0,630	0,645	0,660	0,680	0,714	0,750	0,810	0,895	-
K_v	225,900	47,77	17,51	7,801	3,753	1,796	0,791	0,290	0,068	-

S --> Área transversal do conducto

S_1 --> Área do diafragma

α --> Coeficiente de contração da veia

GARCEZ (1977) afirma que os registros mais usados são os de gaveta, globo e borboleta (Figura 2.4), sendo que a perda de carga (h_r) em qualquer deste tipo de registro pode ser calculada por:

$$h_r = K_r \frac{V^2}{2g} \quad \text{Eq. 2.17}$$

sendo:

$K_r = f(a/d)$ nos registros de gaveta e

$K_r = f(a)$ para os outros dois tipos.

Nas TABELAS 2.2 e 2.3 são apresentados os valores de K_r em função de a/D e a respectivamente.

CABELLO (1986) e ABREU et alii (1987) afirmam que o controle de pressão e/ou vazão na entrada das subunidades na irrigação localizada é imprescindível. Os mesmos autores afirmam, ainda, que um bom projeto hidráulico deve garantir

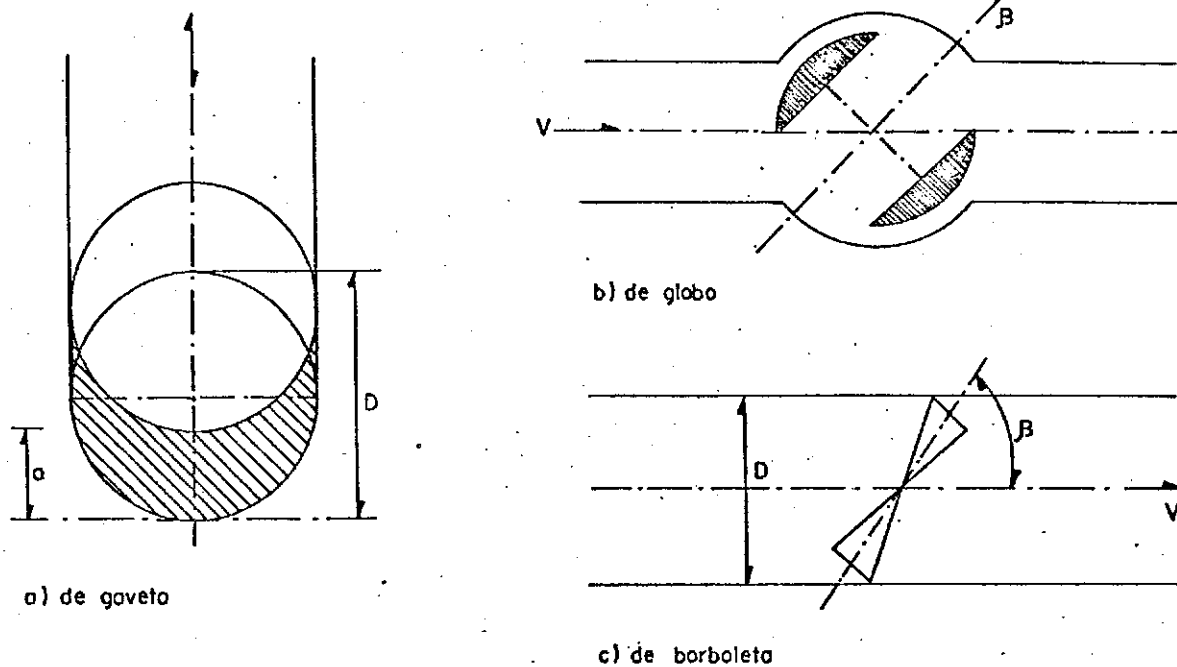


FIGURA 2.4 - Registros mais Usados, segundo GARCEZ (1977)
 a) Gaveta, b) de Globo e c) de Borboleta

que as perdas de carga que se produzem dentro de uma subunidade (entre laterais e terciárias) não ultrapassem determinados valores, de maneira que a máxima diferença de pressões entre emissores, promova diferenças de vazões que não ultrapassem um valor prefixado, em função da uniformidade de irrigação desejada.

TABELA 2.2 - Valores de K_p para vários graus de fechamento da válvula de gaveta (GARCEZ, 1977).

a	7	3	5	1	3	1	1
D	8	4	8	2	8	4	8
$\frac{S_1}{S}$	0.940	0.856	0.740	0.609	0.466	0.315	0.159
K_p	0.07	0.26	0.81	2.06	5.52	17.00	97.80

S_1/S é a relação das áreas efetiva da abertura de passagem e da tubulação de seção circular

TABELA 2.3 - Valores de K_p para vários graus de abertura para válvulas borboletas (GARCEZ, 1977)

a	s/S*	K_p	a	s/S*	K_p
5°	0,913	0,24	40°	0,357	10,8
10°	0,826	0,52	45°	0,293	18,7
15°	0,741	0,90	50°	0,234	32,6
20°	0,658	1,54	55°	0,181	58,8
25°	0,577	2,51	60°	0,134	118,0
30°	0,500	3,91	65°	0,094	256,0
35°	0,426	6,22	70°	0,060	750,0

s/S* é a relação das áreas efetiva da abertura de passagem e da tubulação de seção circular.

CABELLO (1986) VARNIEREN & JOBLING (1986) e ABREU et alii (1987) definem como regulador de pressão aqueles dispositivos capazes de dissipar o excesso de pressão, mantendo a pressão de saída aproximadamente constante dentro de uma determinada faixa de pressões de entrada. Estes reguladores podem ser de dois tipos: reguladores de pressão dinâmica, reguladores de pressão estática e dinâmica. O primeiro atua quando a água está circulando, enquanto que o segundo atua com ou sem fluxo de água.

Segundo os mesmos autores, os reguladores de pressão têm como base duas finalidades: 1ª) Manter a uniformidade da irrigação, 2ª) Proteger as instalações contra pressões excessivas. No primeiro caso os reguladores são instalados no início de cada subunidade e no outro, faz-se com o propósito de poupar custos nas instalações.

Atualmente existem no mercado vários tipos de reguladores de pressão, sendo os mais importantes:

- De mola
- De nível hidráulico
- Derivados de válvulas hidráulicas
- De grande diâmetro.

Segundo BERNARDO (1986) o uso de válvulas reguladoras de pressão, justifica-se na irrigação por aspersão quando por condições locais, a lateral ficar em aclave e a diferença de nível ao longo de uma linha lateral exceder 50% da variação de pressão permitida. No entanto, na irrigação localizada, o

autor acredita que em países em fase de desenvolvimento não faz sentido elevar os custos dos sistemas com reguladores de pressão ou válvulas métricas automáticas, podendo, neste caso, ser feito o controle por meio do uso de registros, manômetros e um pouco mais de mão-de-obra. O uso de reguladores automáticos somente far-se-ia necessário em sistemas em que se desejasse automatizar.

4 - EFICIENCIA NUM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Gomes (1980) citado por PAZ (1990) salienta que a irrigação deve ser vista como um meio não como fim, e que o sistema de produção de cultura irrigada necessita de tecnologias como: variedades melhoradas, adubações, controle de pragas e doenças, espaçamentos adequados e outros. Ressalta, ainda, que nos perímetros irrigados, onde se utilizaram conceitos adequados de engenharia, sendo menos considerados os aspectos culturais e econômicos, os resultados obtidos foram poucos expressivos.

PAZ (1990) afirma que a irrigação é uma prática que quando utilizada eficientemente; eleva a renda do produtor, gera empregos no campo e aumenta a produtividade agrícola.

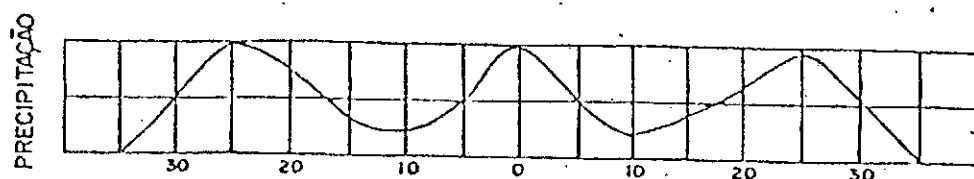
TIBAU (1987) recomenda que o conhecimento da eficiência e da uniformidade de água num sistema de irrigação é de fundamental importância. A variação espacial de água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão depende de vários fatores, tais como: pressão de serviço, rotação dos aspersores,

condições climáticas e outros.

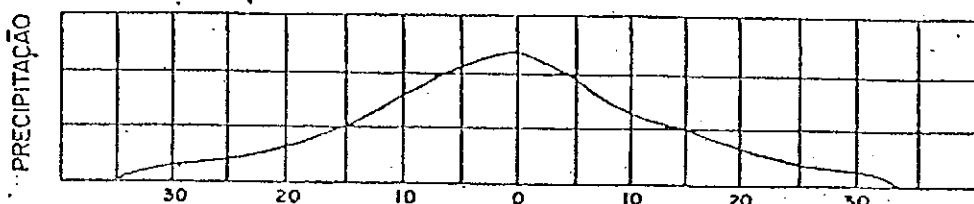
Segundo Wu & Gittin, citados por SILVA (1984) num sistema de irrigação localizado, quando a distribuição de pressão for determinada ao longo de uma linha lateral, a uniformidade de aplicação poderá ser alcançada pelo uso de diferentes tamanhos de emissores, diferentes comprimentos e diâmetros de microtubos ou diferentes espaçamentos entre gotejadores. O autor garante, ainda, que a relação entre vazão e pressão, perdas de carga ao longo da linha lateral e no gotejador, constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente os emissores.

Para OLITTA (1987) o coeficiente de uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão é afetado pelo espaçamento dos aspersores, relação entre pressão e diâmetro do bocal e condições de vento. Portanto, uma combinação ideal entre estes fatores resultará numa distribuição satisfatória de água na área.

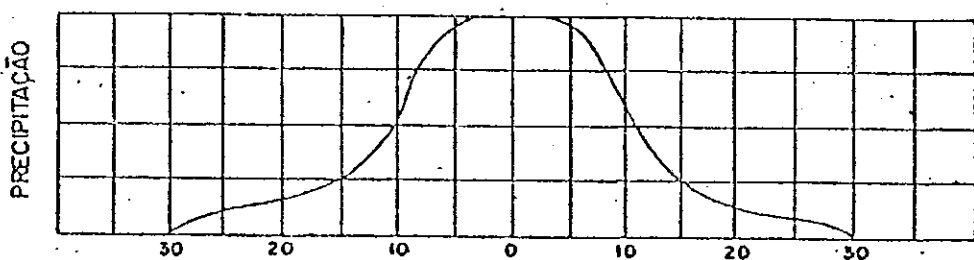
Segundo BERNARDO (1986) OLITTA (1987) e DAKER (1989) a Pressão de serviço é essencial para o correto funcionamento do equipamento, pois variações além dos limites recomendados podem acarretar uniformidades de irrigação indesejadas. Afirmando, ainda, que os fatores que afetam o desempenho do aspersor são: bocal, pressão e vento. A descarga de aspersor é função direta do diâmetro do bocal e da pressão de água. Uma pressão excessiva irá acarretar uma pulverização muito grande do jato, produzindo gotas de tamanho reduzido, com um excesso



a - Pressão insuficiente



b - Pressão satisfatória



c - Pressão excessiva

FIGURA 2.5 - Efeitos de Diferentes Pressões na Distribuição da Precipitação de um Aspersor (DAKER, 1988)

de deposição de água próximo do aspersor, e uma perda no alcance do jato. Quando a pressão está abaixo dos limites recomendados, ocorre uma inadequada pulverização do jato, proporcionando uma maior deposição de água na extremidade da área molhada, prejudicando grandemente a uniformidade da irrigação. A Figura 2.5 mostra esquematicamente a variação na distribuição de água de um aspersor.

Para BERNARDO (1986) OLITTA (1987) ABREU et alii (1987) o dimensionamento, ou seleção de diâmetros das tubulações dos sistemas de irrigação localizada e por aspersão, é feita com base em critérios estabelecidos de máxima perda de carga admissível. As Figuras 2.6 e 2.7 mostram a distribuição de pressão numa subunidade de irrigação localizada e aspersão, respectivamente.

BERNARDO (1986) OLITTA (1987) e outros autores recomendam 20% da pressão de serviço como limite de perda de carga admissível numa canalização lateral de aspersão. Este limite provoca variação na vazão de aproximadamente 10% entre o primeiro e o último aspersor. Os mesmos autores, afirmam que, normalmente o aspersor que está operando com a pressão de serviço está situada no meio da linha, de modo que a perda fica distribuída aos dois lados. A Figura 2.8 mostra a distribuição de pressão ao longo de uma linha lateral.

Muitos autores observaram que a maior perda de carga ocorre logo no início da linha lateral, sendo normal ter-se:

$$\text{Pressão Máxima} = P_m + 3/4 h_f + Z$$

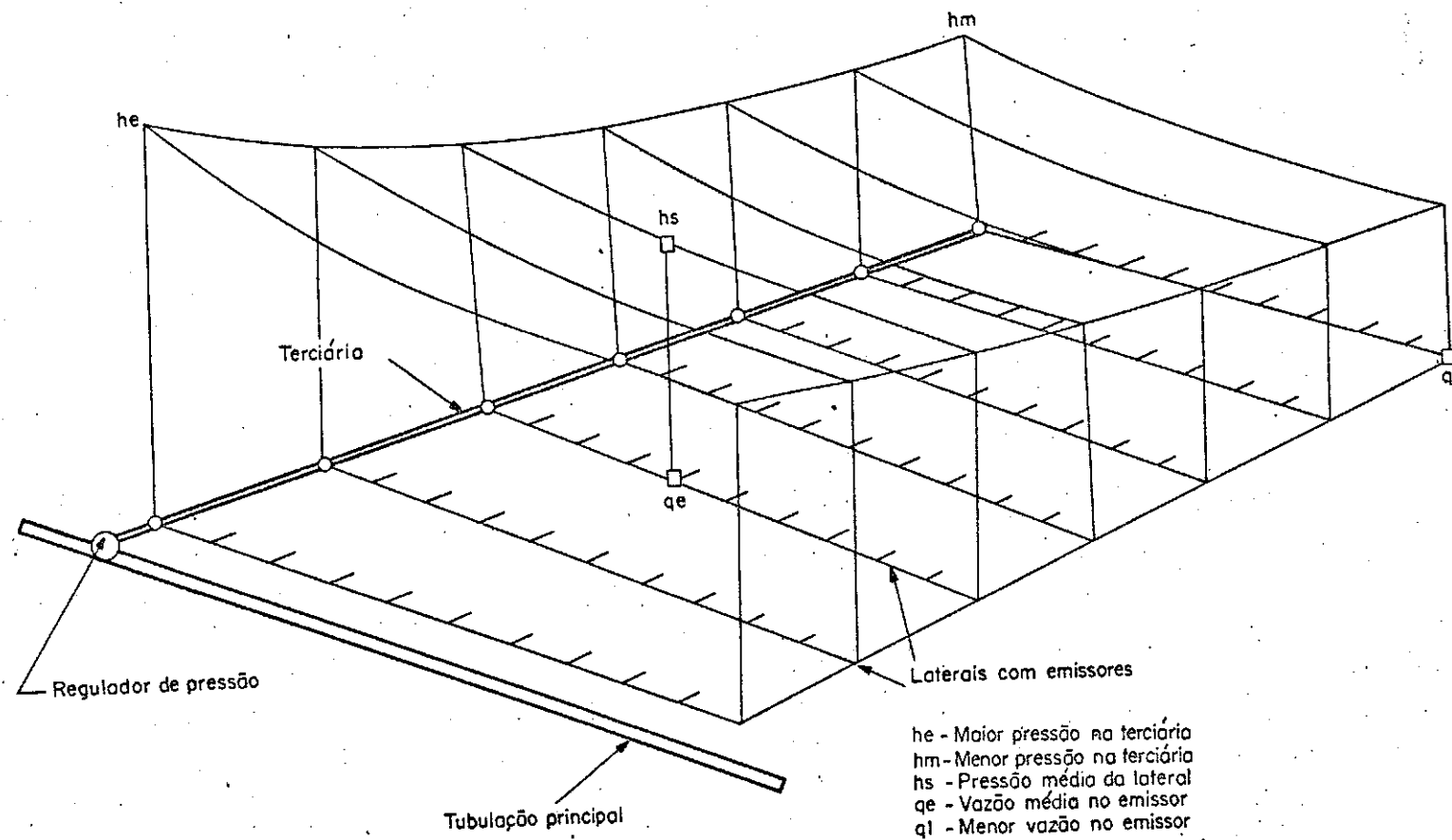


FIGURA 2.6 - Distribuição de Pressões numa Subunidade de Irrigação
 Localizada num Terreno em Nível (ABREU et alii, 1987)

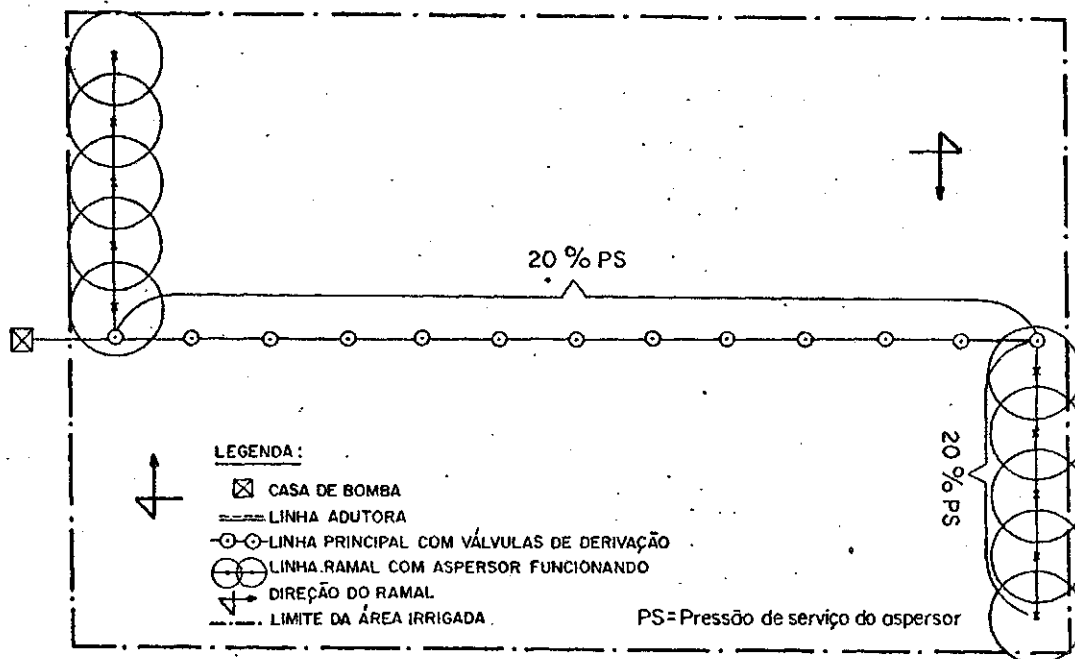


FIGURA 2.7 - Distribuição de Pressão num Sistema de Irrigação por Aspersão

$$\text{Pressão M\u00ednima} = P_s - 1/4 h_r - Z$$

onde:

P_s - Press\u00e3o de servi\u00e7o, mca

h_r - perda de carga ao longo da linha lateral, mca

Z - Diferen\u00e7a de n\u00edvel entre o in\u00edcio e o final da lateral, sendo o valor de Z positivo para laterais em a\u00e7ive e negativo para laterais em declive.

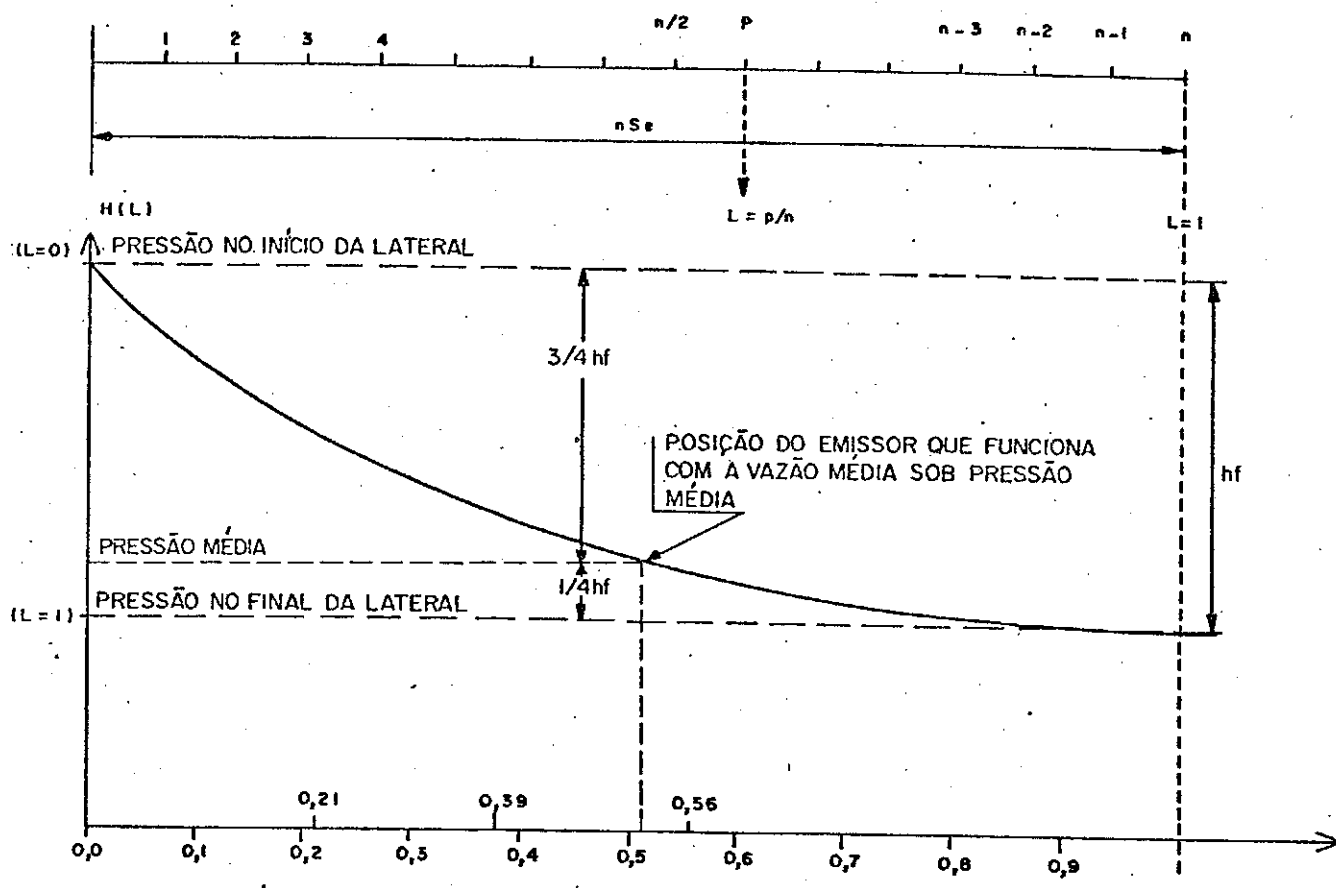


FIGURA 2.8 - Curva de Distribuição de Pressão ao Longo de uma Linha Lateral (OLITTA, 1987)

CAPITULO III

MATERIAIS E METODOS

1 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Irrigação (LEI) do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, em Campina Grande - PB.

2 - DESCRIÇÃO DO APARELHO EXPERIMENTAL

O equipamento utilizado no experimento consistiu dos seguintes elementos:

- . 02 conjunto moto-bomba ligados em série
- . 01 extravasor para controle de pressão de entrada
- . 02 rotâmetros ligados em paralelo, graduados em l/s
- . Tubos de PVC PN 80 com Engate rápido de 50mm e 75mm
- . 03 manômetros glicerizados, graduados em kgf/cm²
- . 03 tomadas de pressão
- . 01 registros para controle da vazão

A água era proveniente de uma cisterna que, por sua vez, era alimentada por um canal que coletava a água no final da tubulação, formando assim, um circuito fechado (Figura 3.1).

3 - DESCRIÇÃO DO REGULADOR DE PRESSÃO

3.1 - Forma Geral

O Regulador de Pressão foi contruídos pela Campina Grande Industrial S. A - CANDE, em placa de PVC PN 80 com orifício concêntrico e fases planas e paralelas, instalados no engate rápido da tubulação (Figuras 3.2, 3.3 e 3.4).

3.2 - Fases Montante e Jusante

As faces montante e jusante do Regulador de Pressão são plano e paralelos, sendo dado o acabamento por torno mecânico e foi considerado plano por simples inspeção visual.

3.3 - Espessura

A espessura foi de 5mm e 8mm para os Reguladores de Pressão usados na tubulações de 50 mm e 75 mm respectivamente, essa espessura foi determinada em função da folga interna existente entre os engate rápido (macho - fêmea) do tubo e a pressão máxima a que era submetida a tubulação.

3.4 - Arestas

As arestas montante e jusante são vivas, isto é, quando

examinadas a olho nu, parece não refletir nenhum raio luminoso, e não apresentam nem dentes nem rebarbas ou qualquer outro tipo de singularidade.

3.5 - Diâmetros

O diâmetro externo do Regulador de Pressão equivale ao diâmetro interno do engate rápido, enquanto o diâmetro interno foi calculado através da fórmula usada por COSTA (1987) que é baseada na hidráulica dos orifícios dada pela equação:

$$d = [Q / 0.0075 (dp)^{1/2}]^{1/2} \quad \text{Eq. 3.1}$$

onde:

d = diâmetro interno do dispositivo, em mm

Q = vazão na tubulação, em m³/h

dp = diferença de pressão a dissipar, em mca

Os diâmetros do dispositivo regulador de pressão selecionados para estudos foram de 16mm, 20mm, 24mm, 28mm e 32mm na tubulação de 50mm, enquanto que para a tubulação de 75mm selecionou-se os diâmetros de 20mm, 24mm, 30mm, 36mm e 42mm.

4 - DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS

Confeccionaram-se 03 (três) dispositivos reguladores de pressão para cada diâmetro interno do Regulador de Pressão em

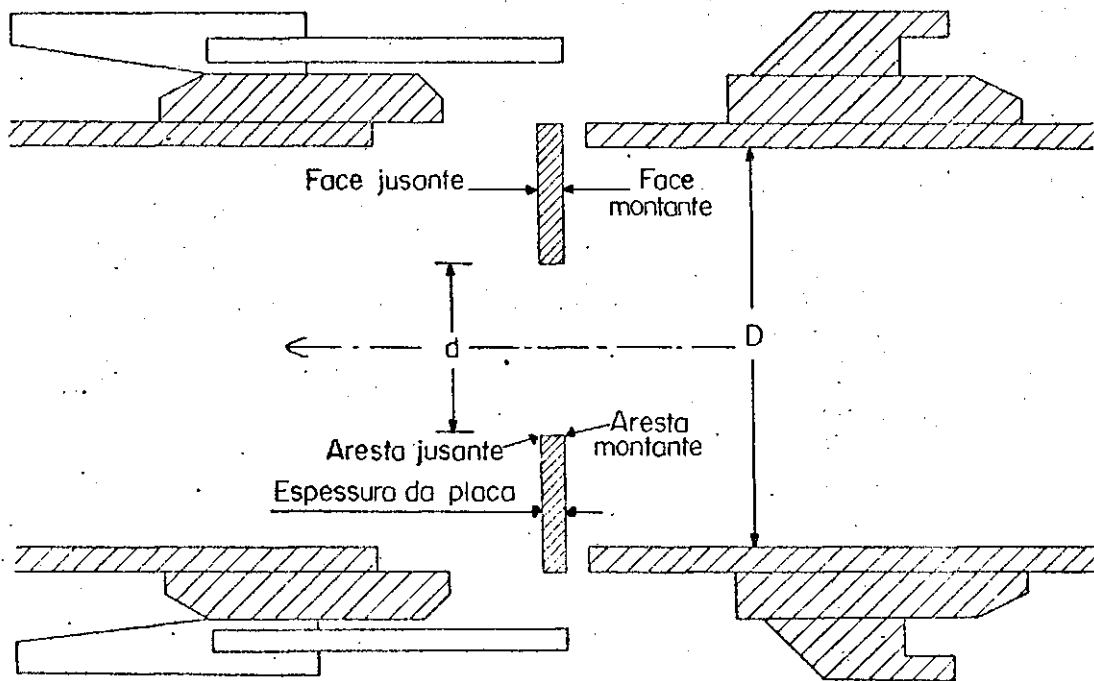


FIGURA 3.2 - Disposição do Regulador de Pressão no Experimento

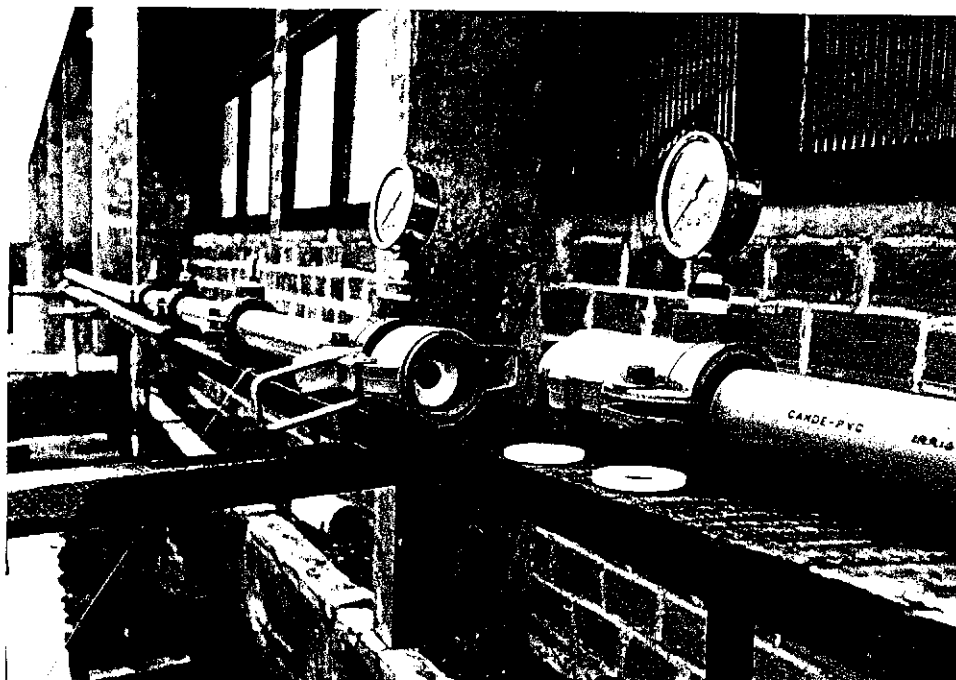


FIGURA 3.3 - Detalhe do Regulador de Pressão Dentro do Engate Rápido do Tubo.

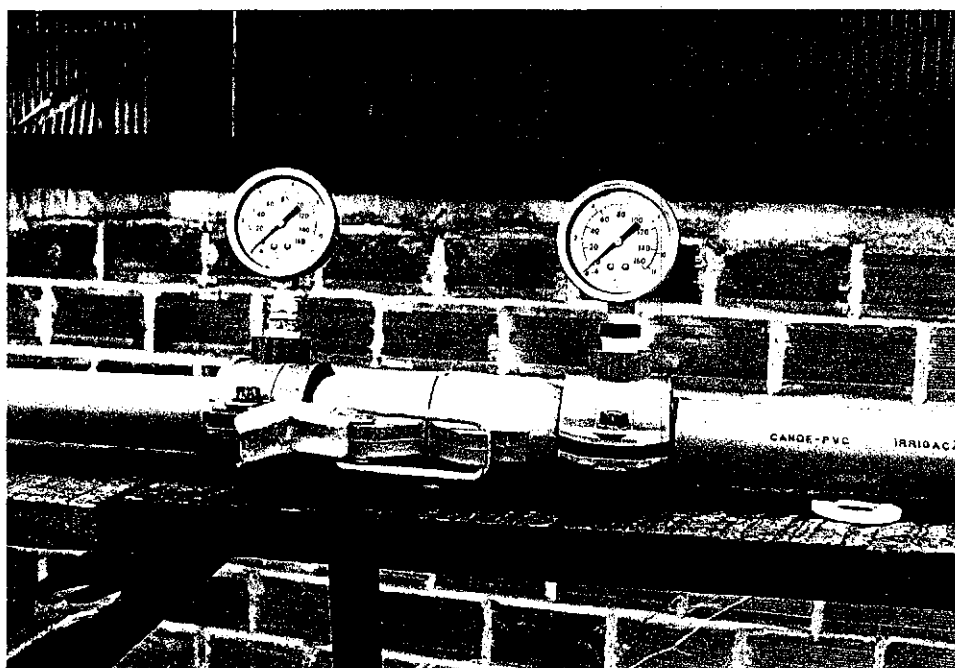


FIGURA 3.4 - Disposição do Manômetro à Montante (Direito) e Primeiro Manômetro à Jusante (Esquerdo) do Dispositivo.

estudo, sendo que, para cada combinação de diâmetro de Regulador e pressão de entrada foram feitas medições de vazão e pressão anotadas em fichas como mostrado no Apêndice A.

4.1 - Determinação da vazão

A vazão foi medida através de dois rotâmetros ligados em paralelo (Figura 3.5) previamente aferidos através do método volumétrico (Apêndice D) com capacidade de medir até 12 l/s. O controle da vazão foi feita por meio de um registro de gaveta de 2", instalado no final da tubulação.

4.2 - Determinação da pressão

Trabalhou-se com pressões de entrada de 50 mca, 40 mca e 30 mca. Esta pressão era controlada através de um extravasor instalado à montante do Regulador conforme mostra a Figura 3.1. A pressão foi medida em uma bateria de manômetros e tomadas de pressão instaladas estrategicamente ao longo da tubulação, (Figura 3.6). O manômetro à montante que determinava a pressão de entrada ficava a uma distância igual ao diâmetro interno do tubo (D). Os manômetros instalados à jusante foram distribuídos da seguinte maneira: o primeiro a 0,5D, o segundo a 8D, o terceiro a 50 cm do segundo e o quarto a 50 cm do terceiro. As leituras de pressão eram feitas somente depois de estabilizar a vazão e os ponteiros dos manômetros.



FIGURA 3.5 - Disposição dos Rotômetros, em Paralelo, no Equipamento Utilizado no Experimento.

A bateria de manômetros instalada à jusante do regulador serviam para descrever o perfil de distribuição de pressão, como também o ponto no qual a pressão ficava estável ao longo da tubulação. A perda de carga provocada pelo dispositivo era obtida pela diferença entre o manômetro à montante e a leitura na seção de escoamento, a partir do qual a pressão ficava estável.

5 - EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA.

Foram feitas medições de vazão e pressão para cada combinação entre diâmetro interno do regulador e carga hidráulica. A vazão era medida diretamente nos rotâmetros e a pressão na bateria de manômetros instalados ao longo da tubulação antes e depois do regulador.

Os três reguladores de pressão confeccionados para cada diâmetro foram submetidos à pressão de entrada de 30, 40 e 50 mca, sendo feitas todas as medições dos parâmetros necessários.

Com estes resultados realizaram-se quatro tipos de regressão para verificar qual era a que representava melhor os dados do experimento. As regressões feitas foram:

Regressão Linear	$Y = a + bX$	Eq. 3.2
------------------	--------------	---------

Regressão Exponencial	$Y = a \exp(bX)$	Eq. 3.3
-----------------------	------------------	---------

Regressão Logarítmico	$Y = a + b \ln(X)$	Eq. 3.4
-----------------------	--------------------	---------

Regressão Potencial	$Y = a X^b$	Eq. 3.5
---------------------	-------------	---------



FIGURA 3.6 - Tomadas de Pressão à Montante e à Jusante do Regulador de Pressão

onde:

Y = Perda de carga provocada pelo dispositivo, mca

X = Vazão, l/s

a e b = Constantes adimensionais

Para saber a influência da pressão de entrada sobre a perda de carga que cada Regulador de Pressão provocava, foi feita uma análise de Covariância por meio do Software "Minitab" no Laboratório de Matemática e Estatística LME/CCT/UFPB; na qual os elementos considerados eram:

- Variável resposta = $\log Y$ (Perda de Carga)
- Variáveis Independentes = $\log X$ (Vazão) e Pressão de Entrada
- Covariável = $\log X$ (Vazão)

CAPITULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 - APARELHO EXPERIMENTAL

As tabelas 1D e 2D apresentadas no apêndice D, mostram os resultados da aferição dos rotâmetros utilizados no experimento pelo método volumétrico. Verifica-se, nestas tabelas, que houve uma diferença entre as vazões medidas pelo rotâmetros e as feitas volumetricamente. Essa diferença foi mais acentuada para a menor vazão medida pelo rotâmetro (0,6 l/s) sendo essa diferença na ordem de 6,7%. Isto se deve ao fato de que essa leitura se processa bem próximo da base de descanso do "flutuador", para leituras maiores desse valor, essa diferença foi menor que 5%. A diferença entre os dois rotâmetros variou entre 0 e 3%. De modo geral, e para as vazões medidas nos testes, as leituras feitas nos rotâmetros são confiáveis.

No que diz respeito aos manômetros, utilizou-se manômetros com escalas de 0 a 7 Kgf/cm² e de 0 a 11 Kgf/cm², sendo a aferição feita com o registro fechado no final do

sistema e constatou-se que todos acusaram a mesma pressão, isto é, não houve nenhuma diferença entre eles.

2 - PERDA DE CARGA DO REGULADOR DE PRESSÃO

Através da bateria de manômetros distribuídos estrategicamente antes e depois do Regulador de Pressão, verifica-se o comportamento da linha piezométrica ao longo da tubulação (Apendice A), e constatou-se que a pressão começava a restabelecer-se, a partir do segundo manômetro à jusante localizado a 8D, ficando a leitura estável, para todos os dispositivos testados, depois do terceiro manômetro em diante.

Ao considerar-se a perda de carga dissipada pelo dispositivo regulador de pressão, como sendo a diferença de leituras entre o manômetro à montante (M_1) e o último à jusante (M_n), deixou-se de considerar a perda de carga devido ao atrito no tubo, isto, porque uma vez restabelecida a pressão, não se percebeu nenhuma diferença entre as leituras nos últimos dois manômetros. Isto pode ser justificado por dois motivos: 1º) A distância entre os últimos dois manômetros era de apenas 50 cm, e a perda de carga teórica, para as vazões estudadas, é relativamente pequena; 2º) Os manômetros utilizados no experimento eram poucos sensíveis para registrar pequenas variações de pressão, haja visto que, o mais sensível tinha escala de 0 a 7 Kgf/cm² que equivale a 0 a 70 mca.

Analisando os resultados obtidos no experimento, apresentados nas tabelas 1B a 10B, verifica-se que o

dispositivo é capaz de promover perdas de carga de até 92%, no tubo de 50mm para a pressão de entrada de 50 mca com regulador de pressão de diâmetro interno de 16mm e vazão de 4,9 l/s.

Vale salientar que os manômetros mostraram-se poucos sensíveis para registrar a variação de pressão quando testados os Reguladores de Pressão com diâmetro interno maior que 24 mm e 30 mm nas tubulações de 50 mm e 75 mm respectivamente, mas isso não invalida os testes, uma vez que, quando se trabalha com vazões que correspondem a velocidades no tubo menores que 3 m/s, a perda de carga provocada pelo dispositivo a variação de pressão era muito pequena.

3 - EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA

As tabelas 1B a 10B do apêndice B, mostram os valores médios obtidos no experimento para cada Regulador de Pressão. A partir destes dados foi feita uma análise de regressão simples através de programa de computador que fazia simultaneamente quatro tipos de regressões. Verifica-se na Tabela 4.1, que a regressão que melhor representava a relação Perda de Carga versus Vazão é a equação exponencial do tipo $Y = a X^b$ por apresentar para todos os casos o maior coeficiente de correlação. Com base nestes resultados partiu-se para uma análise mais detalhada, utilizando o Software "Minitab" no laboratório de Matemática e Estatística da UFPB, na qual foi feita para cada Regulador de Pressão uma análise de variância da regressão bem como análise de covariância para

TABELA 4.1 - Coeficiente de correlação (r) das relações de Perda de Carga versus Vazão para as Regressões Linear, Exponencial, Logarítmico e Potencial.

DIAMETRO INTERNO DO REGULADOR DE PRESSAO (mm)	R E G R E S S A O			
	LINER	EXPONENC.	LOGARIT.	POTENCIAL
TUBO DE 50mm				
16	0,9477	0,9354	0,8730	0,9770
20	0,9630	0,9732	0,8978	0,9945
24	0,9688	0,9795	0,8852	0,9884
28	0,9685	0,9583	0,8946	0,9708
32	0,9016	0,8816	0,9217	0,9239
TUBO DE 75mm				
20	0,9488	0,9612	0,8889	0,9820
24	0,9614	0,9791	0,9038	0,9894
30	0,9695	0,9692	0,9064	0,9893
36	0,9573	0,9705	0,8917	0,9735
42	0,9607	0,9553	0,9101	0,9663

saber se a pressão de entrada tinha influência na perda de carga. Estes resultados são apresentados nas Tabelas 4.2 a 4.21. Os resultados da análise de variância da regressão para todos os casos pelo teste F são significativos para qualquer valor acima de 0 (zero). A análise de covariância indica que a hipótese de igualdade não pode ser rejeitada, o que significa que a pressão de entrada não teve nenhuma influência sobre a perda de carga, pois para todos os casos, o nível descritivo para a pressão ficou acima de 10%, exceto para o dispositivo de diâmetro interno de 30mm usado na tubulação de 75mm, que

TABELA 4.2 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 16mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	58,684	58,684	1.153,64	0,0
Resíduo	55	2,798	0,051	---	---
T O T A L	56	61,482	----	---	---

TABELA 4.3 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 16mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,070	0,035	0,68	0,509
Log X	1	58,242	58,242	1.131,83	0,0
Resíduo	53	2,727	0,051	---	---

TABELA 4.4 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	73,596	73,596	7.082,62	0,0
Resíduo	79	0,821	0,010	---	---
T O T A L	80	74,417	----	---	---

TABELA 4.5 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,010	0,005	0,50	0,609
Log X	1	72,429	72,429	6.881,84	0,0
Resíduo	77	0,81	0,011	---	---

TABELA 4.6 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	54,565	54,565	3.179,45	0,0
Resíduo	76	1,304	0,017	---	---
T O T A L	77	55,870	----	---	---

TABELA 4.7 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,075	0,037	2,25	0,112
Log X	1	54,282	54,282	3.267,21	0,0
Resíduo	74	1,229	0,017	---	---

TABELA 4.8 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 28mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	47,629	47,629	1.194,48	0,0
Resíduo	79	2,907	0,037	---	---
T O T A L	80	50,535	----	---	---

TABELA 4.9 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 28mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q. (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,160	0,080	2,24	0,114
Log X	1	47,215	47,215	1.323,42	0,0
Resíduo	77	2,747	0,036	---	---

TABELA 4.10 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 32mm, instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	26,465	26,465	157,22	0,0
Resíduo	52	8,753	0,168	---	---
T O T A L	53	35,218	----	---	---

TABELA 4.11 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 32mm, Instalado na Tubulação de 50mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,611	0,305	1,88	0,164
Log X	1	25,981	25,981	159,54	0,0
Resíduo	50	8,142	0,163	---	---

TABELA 4.12 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	59,114	59,114	1.972,96	0,0
Resíduo	73	2,187	0,030	---	---
T O T A L	74	61,302	---	---	---

TABELA 4.13 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,201	0,100	3,59	0,133
Log X	1	56,570	56,570	2.022,13	0,0
Resíduo	71	1,986	0,028	---	---

TABELA 4.14 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	46,797	46,797	3.042,76	0,0
Resíduo	64	0,984	0,015	---	---
T O T A L	65	47,781	----	---	---

TABELA 4.15 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,053	0,026	1,76	0,181
Log X	1	45,234	45,234	3.010,72	0,0
Resíduo	62	0,931	0,015	---	---

TABELA 4.16 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 30mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	61,062	61,062	3.437,34	0,0
Resíduo	73	1,297	0,018	---	---
T O T A L	74	62,358	----	---	---

TABELA 4.17 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 30mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,084	0,042	2,45	0,094
Log X	1	60,891	60,891	3.563,61	0,0
Resíduo	71	1,213	0,017	---	---

TABELA 4.18 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 36mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	40,037	40,037	1.105,17	0,0
Resíduo	61	2,210	0,036	---	---
T O T A L	62	42,247	----	---	---

TABELA 4.19 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 36mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,010	0,005	0,13	0,876
Log X	1	40,003	40,003	1.072,82	0,0
Resíduo	59	2,200	0,037	---	---

TABELA 4.20 - Resumo da Análise de Variância da Regressão dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 42mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Regressão	1	20,706	20,706	761,97	0,0
Resíduo	54	1,467	0,027	---	---
T O T A L	55	22,173	----	---	---

TABELA 4.21 - Resumo da Análise de Covariância dos Dados para o Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 42mm, Instalado na Tubulação de 75mm

FONTE DE VARIACÃO	G.L	S.Q (Ajustado)	S.M	F	NIVEL DESCRITIVO
Pressão	2	0,180	0,090	3,62	0,134
Log X	1	20,708	20,708	836,12	0,0
Resíduo	52	1,288	0,025	---	---

ficou um pouco abaixo de 10% (9,4%). Mas o programa detectou que quatro observações apresentaram resíduos bastante elevados em termos absolutos, sendo que três destas observações foram registradas quando a pressão de entrada era de 30mca. Portanto fica justificada essa anomalia, pois, observando-se a Figura O8C do Apêndice C, não se percebe nenhuma diferença.

4 - RELAÇÕES CARACTERÍSTICAS DO REGULADOR DE PRESSÃO

As Equações Características do Regulador de Pressão ajustadas, a partir dos valores médios obtidos no experimento

são apresentadas na Tabela 4.22 e representados graficamente nas Figuras 4.1 e 4.2. Os valores observados do expoente "b" da equação variaram de 2,10 a 1,33 para os Reguladores testados na tubulação de 50mm, mantendo tendência decrescente com o aumento do diâmetro do orifício, o que não aconteceu para os dispositivos testados na tubulação de 75 mm que variou de 1,79 a 1,94 sem apresentar tendência.

No que tange ao coeficiente "a" observa-se tendência de diminuição, à medida em que o diâmetro interno aumenta; como "a" é uma constante característica do dispositivo, significa que para uma mesma vazão a perda de carga diminui com o aumento do diâmetro interno do dispositivo.

O menor coeficiente de determinação aconteceu para o diâmetro de 32mm na tubulação de 50mm, isso pode ser justificado porque para leituras de vazões até 5,2 l/s que corresponderia à velocidade de 3 m/s no tubo, a perda de carga variou em torno de 2 mca e para registrar maiores variações na perda de carga teríamos que ter manômetros mais sensíveis.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram que existem um aumento da perda de carga com o aumento da vazão para o mesmo diâmetro e esta perda tende a ser menos atenuada com o aumento do diâmetro interno do dispositivo.

A curva identificada como COSTA, que aparece nas Figuras do Apêndice C, foram obtidas, para efeito comparativo, a partir da Equação 3.1, relacionando-se os parâmetros:

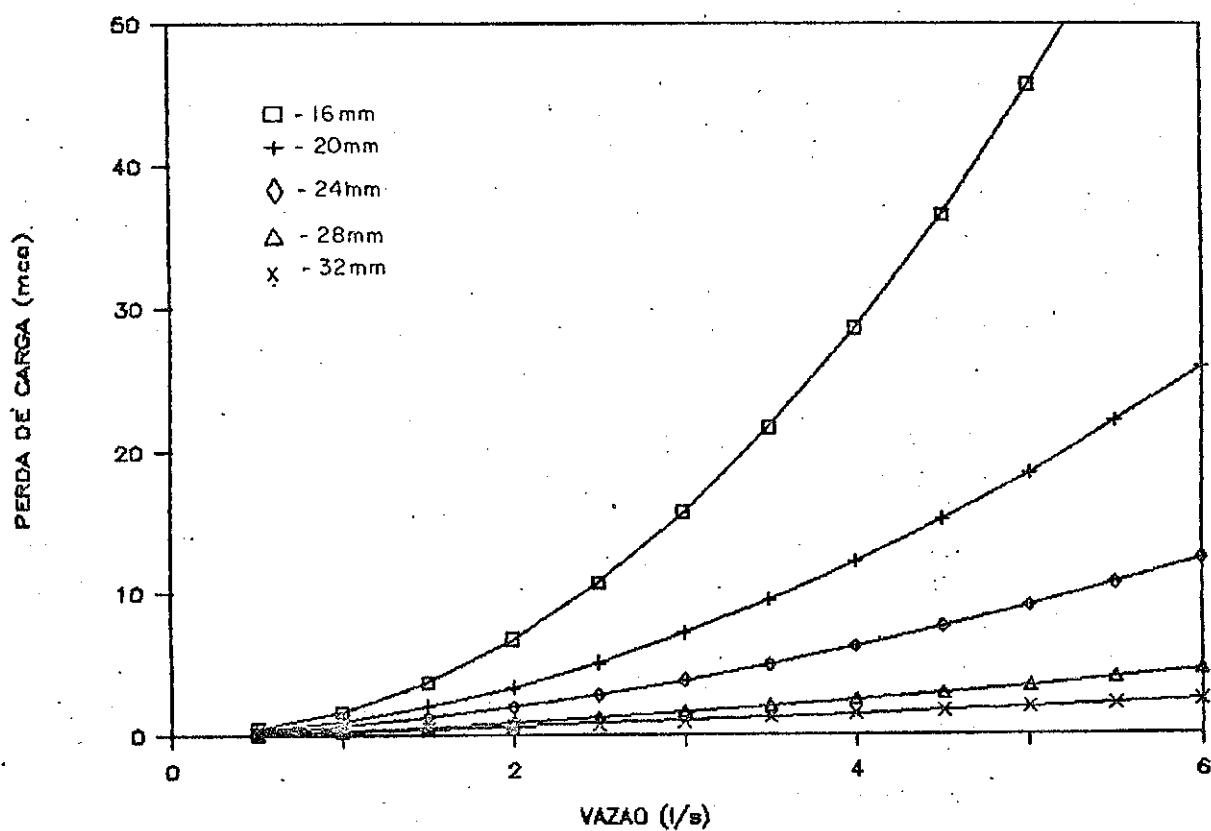


FIGURA 4.1 - Representação Gráfica das Equações Estimadas de Perda de Carga versus Vazão provocada pelos Reguladores de Pressão, testados no Tubo de 50mm

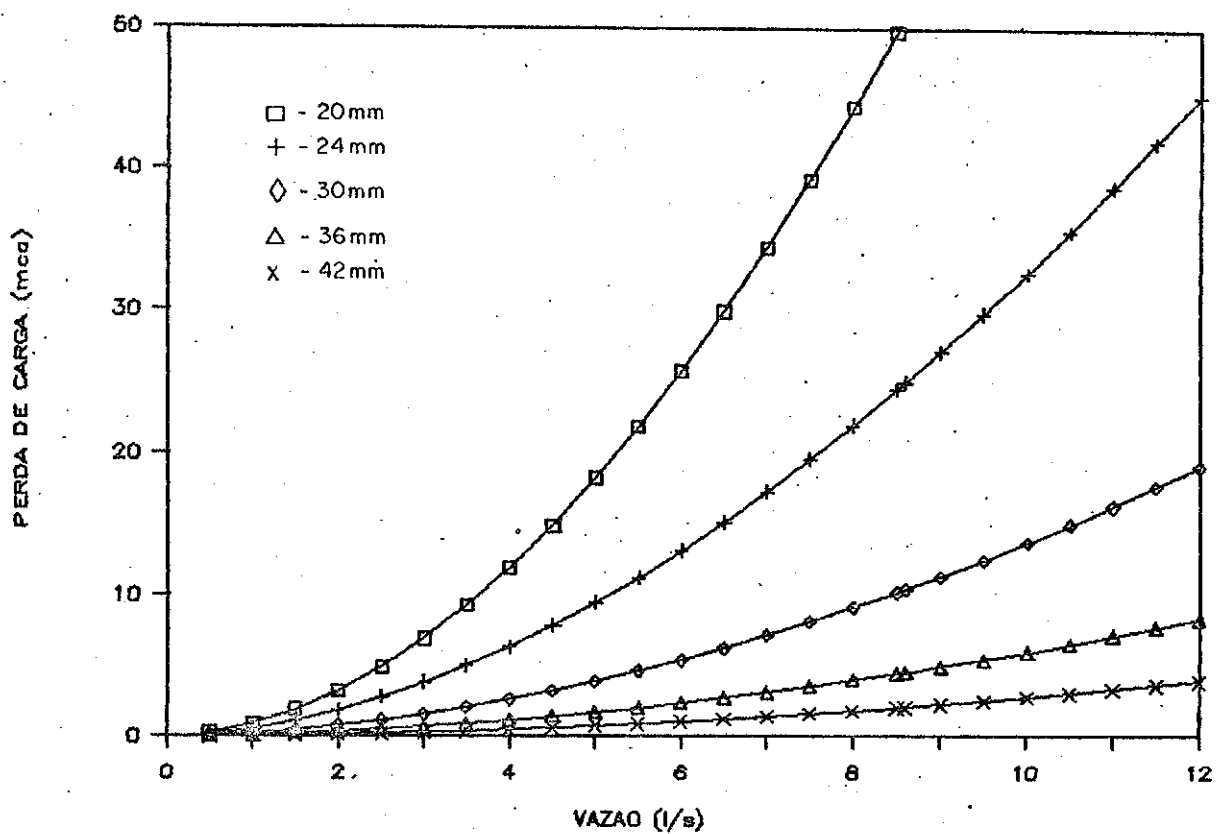


FIGURA 4.2 - Representação Gráfica das Equações Estimadas de Perda de Carga versus Vazão provocada pelos Reguladores de Pressão, testados no Tubo de 75mm

TABELA 4.22 - Equações e Coeficientes de Correlação das Relações de Perda de Carga Versus Vazão.

DIAMETRO INTERNO DO REGULADOR	E Q U A Ç Ã O $Y = aX^b$	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (r^2)
TUBO DE 50mm		
16mm	$Y = 1.5527 X^{2.10}$	95,4 %
20mm	$Y = 0.9061 X^{1.87}$	98,9 %
24mm	$Y = 0.5752 X^{1.71}$	97,7 %
28mm	$Y = 0.2808 X^{1.55}$	94,2 %
32mm	$Y = 0.2187 X^{1.39}$	85,4 %
TUBO DE 75mm		
20mm	$Y = 0.8530 X^{1.70}$	96,4 %
24mm	$Y = 0.5290 X^{1.77}$	97,9 %
30mm	$Y = 0.2060 X^{1.82}$	97,9 %
36mm	$Y = 0.0872 X^{1.83}$	94,8 %
42mm	$Y = 0.0308 X^{1.74}$	93,4 %

Y = Perda de Carga, mca

X = Vazão, l/s

"a" e "b" = Coeficientes Adimensionais

diferença de pressão a dissipar (dp) e vazão (Q) para o diâmetro interno do regulador testado. Nas referidas Figuras encontram-se as curvas características ajustadas, a partir dos valores obtidos nas condições de teste para pressões de entrada de 30 mca, 40 mca e 50 mca; como as análises estatísticas mostraram que a pressão de entrada não influenciou a perda de carga, significa que a curva característica para o regulador, passa pelo meio dessas curvas; verifica-se que, uma perda de carga medida, não corresponde à calculada pela

Equação 3.1 nas mesmas condições, ocorrendo diferença entre estas. Essa diferença pode ser explicada através do coeficiente exponencial da vazão das equações, visto que a Equação 3.1 quando feita a simulação, o coeficiente exponencial da vazão é quadrática, enquanto que nas equações ajustadas não é (Tabela 4.22). Levando em consequência a diferentes declividades entre as curvas, e essas diferenças, serão tanto maiores quanto maiores forem as diferenças entre os coeficientes exponenciais das Equações observadas e a de COSTA (1987).

As Figuras 4.3 a 4.6 foram obtidas a partir das Tabelas 1E e 2E do apêndice E. A Figura 4.3 mostra, para todos os reguladores de pressão em estudo, o erro percentual entre as equação de COSTA e as obtidas experimentalmente na tubulação de 50 mm. Verifica-se nesta figura que houve tendência decrescente no erro percentual à medida em que a vazão aumentava, exceto para a curva que representa o regulador de pressão de diâmetro interno de 16 mm, que sofreu moderado acréscimo, mantendo-se um pouco acima de 50%. Observa-se, também, que para um intervalo de vazão de 1 l/s a 6 l/s, que corresponderia à velocidade média no tubo de 0,58 a 3,46 m/s, houve uma variação do erro percentual de 44% a 52%, 63% a 50%, 84% a 49%, 73% a 33% e 100% a 30% para os reguladores de pressão de diâmetro interno de 16, 20, 24, 28 e 32mm respectivamente. Verifica-se que os reguladores de 16, 20 e 24 mm mantêm a mesma tendência, interceptando-se quando a vazão é de 5 l/s e que corresponde a um erro percentual de

50%, isto significa que neste ponto o valor encontrado no experimento representa, aproximadamente, a metade do valor fornecido pela equação de COSTA.

A figura 4.4 mostra a diferença entre os valores fornecidos pela equação de COSTA e os dados experimentais, no tubo de 50 mm. Verifica-se nesta figura que existe determinado comportamento crescente à medida em que o diâmetro interno do dispositivo diminui, observando-se também que essa diferença é maior para os dispositivos de menor diâmetro.

Analisando-se o comportamento das figuras 4.3 e 4.4 verifica-se que os dispositivos que apresentaram maior diferença em termos percentuais, são os que mostraram menor variação em termos absolutos; isto se explica, pois os dispositivos de menor diâmetro dissipam maior energia e, mesmo apresentando menor variação em termos relativos, as diferenças em termos absolutos são maiores.

A figura 4.5 mostra o erro percentual entre as equações de COSTA e a obtida no experimento na tubulação de 75 mm. Observa-se que todos os dispositivos têm tendência decrescente mais ou menos na mesma proporção. A maior diferença em termos percentuais aconteceu para os maiores diâmetros. Para uma variação de vazão de 2 a 12 l/s, que corresponde à velocidade média no tubo de 0,51 a 3,07 m/s, existiu uma diferença de 55% a 46%, 69% a 55%, 64% a 46%, 56% a 42% e de 40% a 36% para os diâmetros internos de 20, 24, 30, 36 e 42 mm, respectivamente.

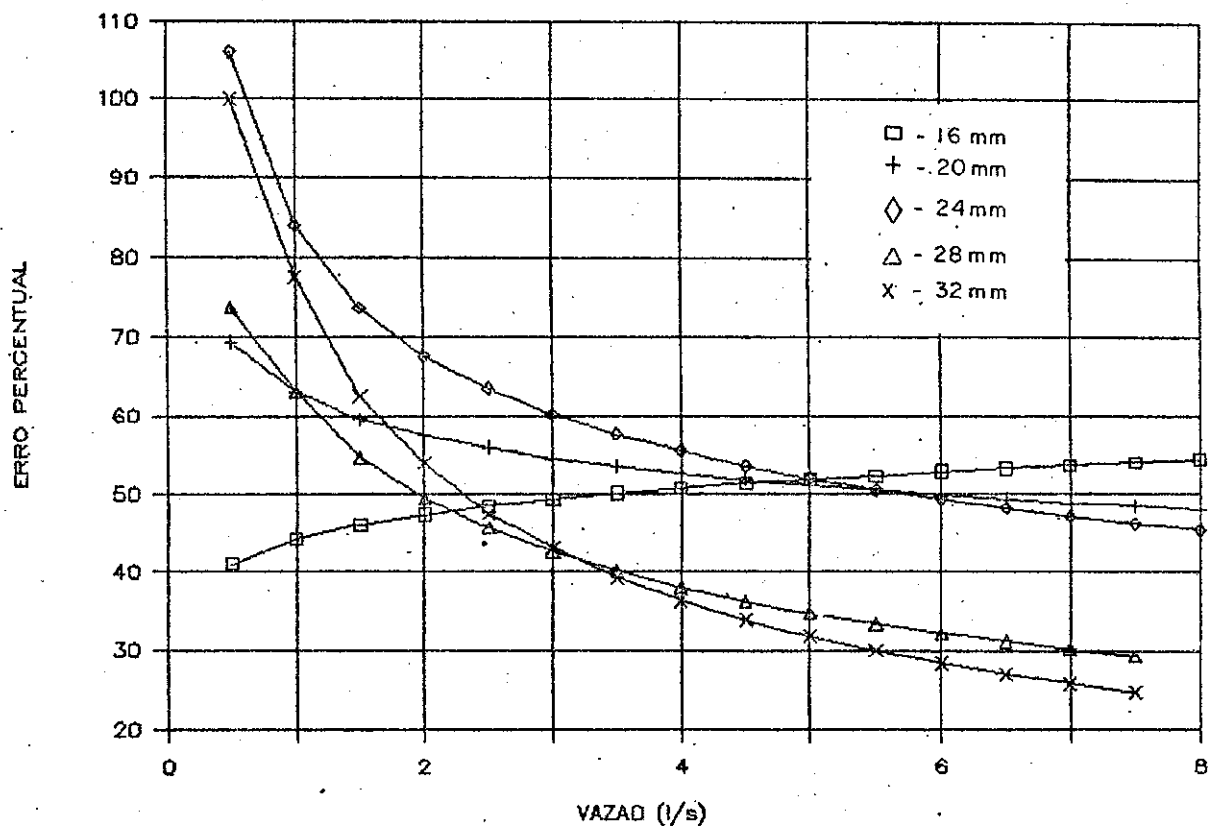


FIGURA 4.3 - Quantificação do Erro Percentual entre as Equações de COSTA e a Obtida no experimento no Tubo de 50 mm

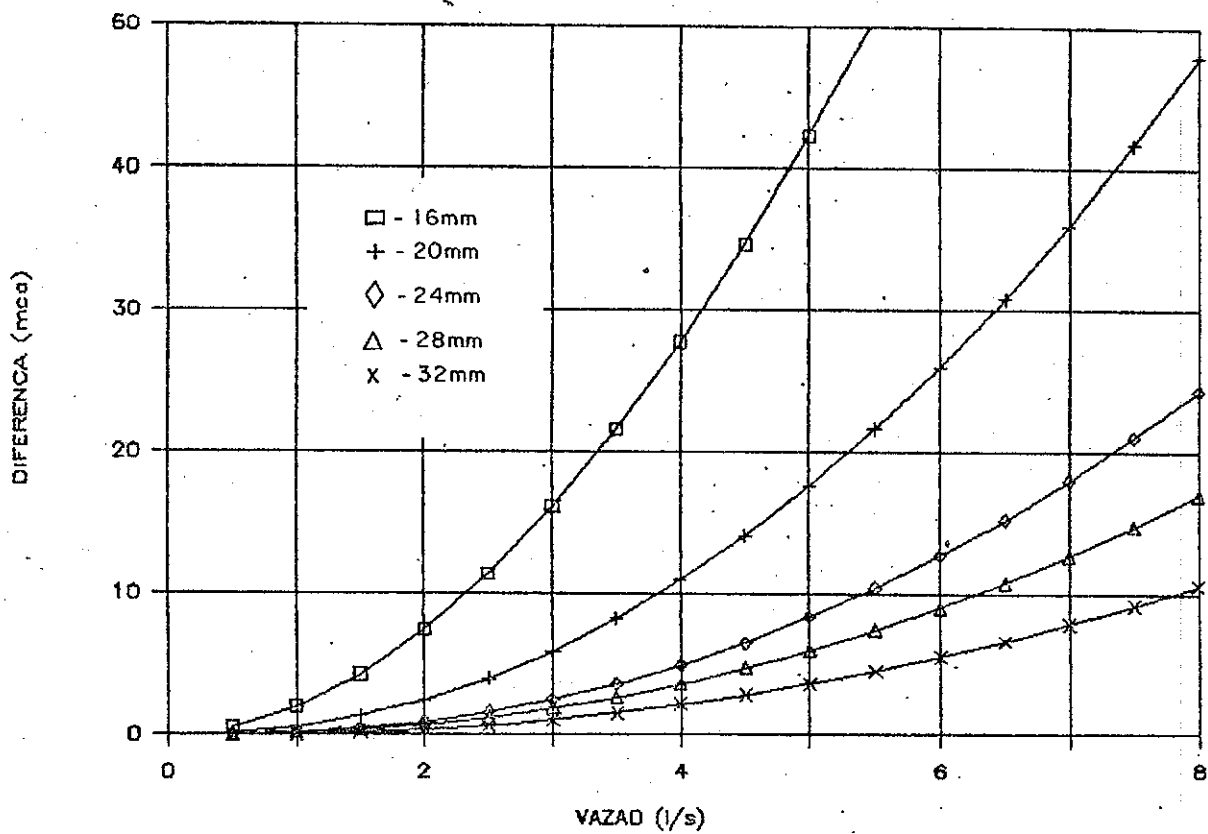


FIGURA 4.4 - Diferença entre os Valores Dados pela Equação de COSTA e os Dados Experimentais no Tubo de 50 mm.

Quando se analisam essas diferenças em termos absolutos (Figura 4.5), verifica-se que as diferenças se invertem, ou seja, os reguladores de pressão de menor diâmetro são os que apresentam maiores diferenças. Isto acontece porque os menores diâmetros produzem maiores perdas de carga. Observa-se nesta figura que, para um intervalo de vazão de 1 a 8,5 l/s os reguladores de pressão de 30, 36 e 42 mm não ultrapassam 10 mca de diferença entre as equações de COSTA e a obtida experimentalmente.

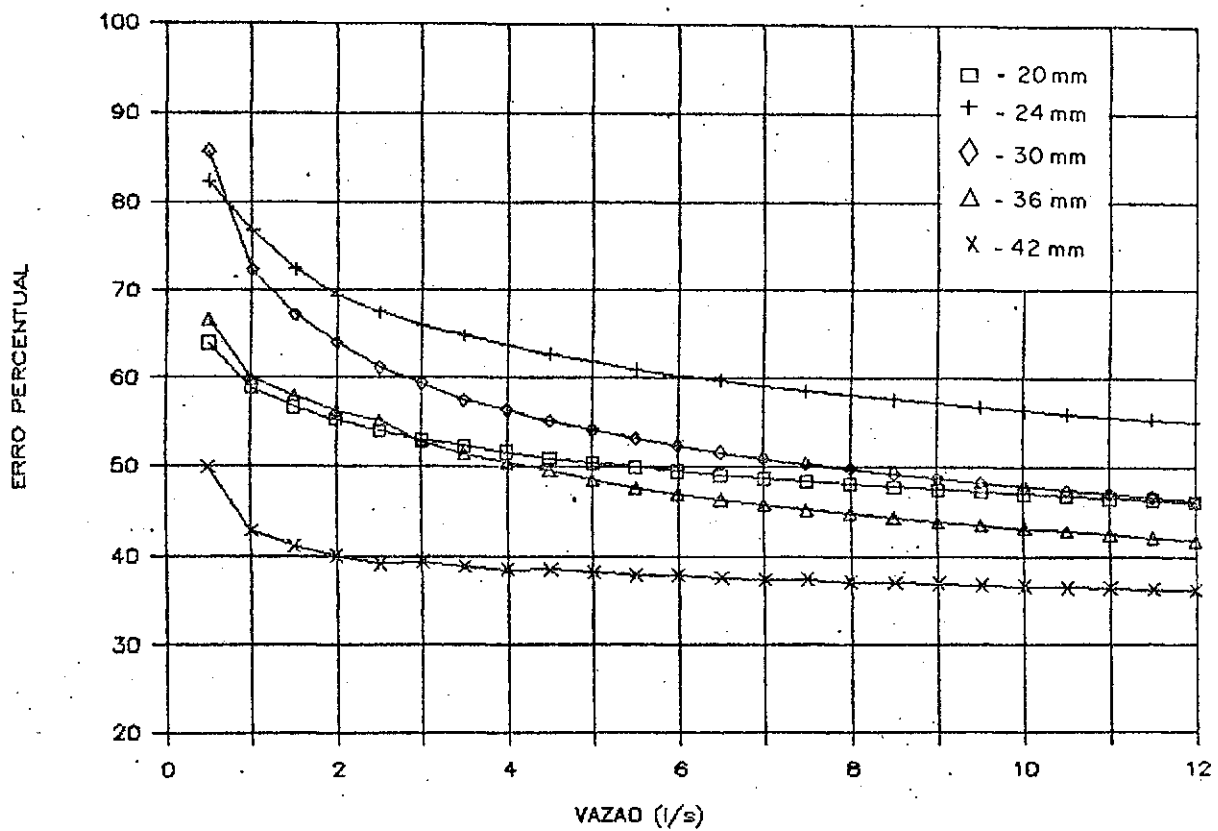


FIGURA 4.5 - Quantificação do Erro Percentual entre as Equações de COSTA e a Obtida no experimento no Tubo de 75 mm

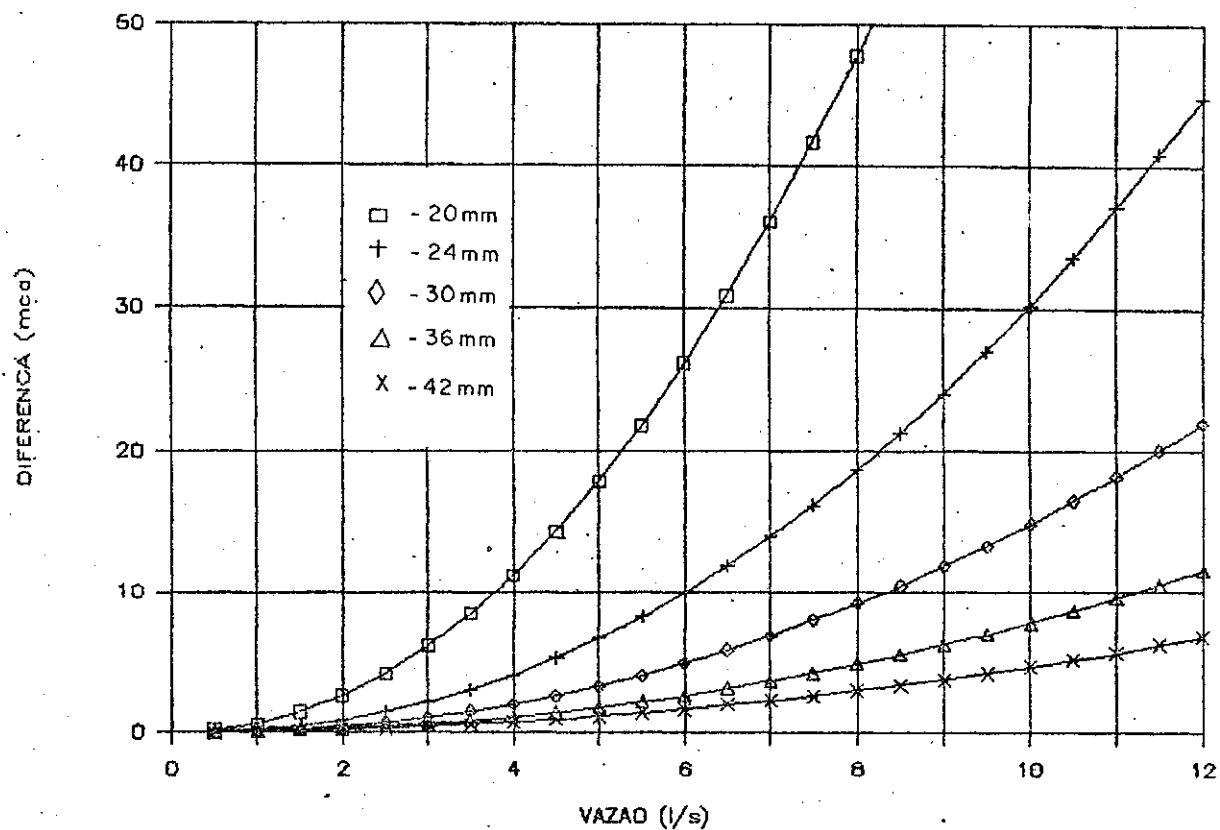


FIGURA 4.6 - Diferença entre os Valores Dados pela Equação de COSTA e os Dados Experimentais no Tubo de 75 mm.

CAPITULO V

CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES

O estudo conduzido neste trabalho, para as condições em que o mesmo foi desenvolvido e baseado nos resultados, propiciou as seguintes conclusões:

- As pressões na entrada utilizadas nos testes não tiveram nenhuma influência na perda de carga provocada pelo Regulador de Pressão;
- As análises estatísticas mostraram que a regressão exponencial foi a que melhor representou a relação de Perda de Carga versus Vazão, apresentando coeficiente de determinação acima de 85,4% para os diâmetros e vazões estudadas;
- O coeficiente "b" da equação exponencial diminuiu com o aumento do diâmetro interno do dispositivo;
- A equação usada por COSTA (1987) superestima a perda de carga provocada pelo Regulador de Pressão, tanto em termos absolutos como relativos para todos os diâmetros e vazões estudadas; (Tabelas 1E e 2E)

- Os Reguladores de Pressão utilizados neste estudo, da forma como foram fabricados e instalados, mostrou-se viável, provocando perda de carga de até 92% da pressão disponível a sua montante, podendo ser usada como dissipador de energia nos sistemas de irrigação pressurizados.

Recomenda-se para o aprimoramento do uso do Regulador Pressão o estudo dos seguintes temas:

- Estudar o regulador de pressão em tubulações 4" e diâmetros menores de 2", e buscar melhores alternativas para sua instalação.
- Estudar o comportamento e capacidade de dissipar energia, do dispositivo regulador de pressão, quando instalado em série.
- Conduzir experimentos com uso de regulador de pressão utilizados neste estudo, com finalidade de avaliar o desempenho operacional e durabilidade.

REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1 - ADDISON, H. Tratado de Hidráulica Aplicada. Editorial Gustavo Gilli, S. A. Barcelona, 1950.
- 2 - ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P e HERNANDEZ, J. F. G. El Riego Localizado. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España, 1987.
- 3 - BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 4ª Edição. Viçosa - MG. UFV. Imprensa Universitaria, 1986.
- 4 - CABELLO, F. P. Riego Localizado de Alta Frecuencia: Goteo, Microaspersión y Exudación. Arte Gráficas Palermo, S.I Madrid, 1986.
- 5 - COELHO, A. C. Medição de Água e controle de Perdas. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental - BNH, 1982.
- 6 - CORONEL, S. T. Hidráulica. Norges Editores, S. A. Mexico - DF, 1947.
- 7 - COSTA, F. F. Fundamentos para Desenvolvimento de Válvulas de Linha com Recurso de Quebra Pressão. Petrolina - PE, 1987.
- 8 - DAKER, A. A Água na Agricultura. 7ª Edição. Rio de Janeiro. Livraria Freitas Bastos S. A, 1989. 3 vol.

- 9 - DEELME, G. J. Manual de Medição de Vazão. São Paulo. Edgars Blucher, 1982.
- 10 - FORCHHEIMER, P. Tratado de Hidráulica. Barcelona - Madrid. Editorial Labor, S. A, 1950.
- 11 - GARCEZ, L. N. Elementos de Mecânica dos Fluidos: Hidráulica Geral. 2ª Ed. São Paulo. Edgar Blucher, 1977.
- 12 - GUROVICH, L. A. Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. San José - Costa Rica. Editorial IICA, 1985.
- 13 - HWANG, N. H. C. Fundamentos de Sistemas de Engenharia Hidráulica. Rio de Janeiro. Prentice-Hall do Brasil, 1984.
- 14 - LEAL, M. V. P. Determinação da Eficiência de Irrigação, a Nível de Parcela, no Projeto de Irrigação Bebedouro. Petrolina, Pernambuco. UFV. - MG, 1979. (Tese MSc).
- 15 - MILLO, J. L & CUNHA, J. B. Manual do Sistema de Irrigação de Irrigação Xiquexique. Recife - PE. SUDENE, 1982.
- 16 - PAZ, V. P. S. Perdas de Água e Uniformidade de Distribuição na Irrigação por Aspersão. UFVÇ Viçosa-MG, 1990 (Tese MSc).
- 17 - NETTO, J.M.A & ALVAREZ, G.A. Manual de Hidráulica. 7a. Edição. São Paulo. Edgard Blucher, 1982
- 18 - NEVES, E.T. Curso de Hidráulica. 8a. Edição. Porto Alegre, Editora Globo, 1986

- 19 - OLITTA, A. F. L. Os Métodos de Irrigação. Editora Nobel, 1987.
- 20 - SILVA, G. F. Características Hidráulicas de Tubo de Polietileno Perfurado para Irrigação por Gotejamento. UFV. Viçosa - MG, 1984 (Tese MSc).
- 21 - SILVA, L. A & LIMA, J. V. C. Irrigação por Aspersão. Asbrasil Nordeste Irrigação Ltda., 1986.
- 22 - SPINK, L. K. Principles and Practice of Flow Meter Engineering. 9th Edition. Massachusetts, USA. The Foxboro Company, 1972.
- 23 - STREETER, V. L. Mecânica dos Fluidos. São Paulo. Mc Graw-Hill do Brasil, 1974.
- 24 - TIBAU, A. O. Técnicas Modernas de Irrigação: Aspersão, Derramamento e Gotejamento. 5^a Edição. São Paulo. Nobel, 1987.
- 25 - VARNIEREN, L & JOBLING, G. A. Riego Localizado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma, 1986.
- 26 - VENNARD, J. K & STREET, R. L. Elementos de mecânica dos Fluidos. 5^a Edição. Guanabara Dois, 1978.
- 27 - WITHERS, B & VIPOND, S. Irrigação: Projeto e Prática. 3^a Edição. São Paulo. Nobel, 1988.

A P E N D I C E "A"

DADOS DO TESTE DO REGULADOR DE PRESSÃO

TESTE No. 10

DATA: 20/OUT/ 92

DIAMETRO NOMINAL DO TUBO: 50 mm

RESPONSÁVEL: Exídio

REGULADOR DE PRESSÃO:

- ESPESSURA: 5 mm - DIAMETRO INTERNO: 20 mm

- PRESSÃO DE ENTRADA: 50 mca

VAZÃO (l/s)	MONTANTE	J U S A N T E			
	MANOMET. 1 (mca)	MANOMET. 2 (mca)	MANOMET. 3 (mca)	MANOMET. 4 (mca)	MANOMET. 5 (mca)
1,20	50,00	47,00	48,50	48,50	48,50
1,85	50,00	45,50	47,50	47,50	47,50
2,45	50,00	42,50	45,00	45,00	45,00
3,05	50,00	39,50	43,50	43,50	43,50
3,60	50,00	36,00	40,50	40,50	40,50
4,20	50,00	32,00	37,50	37,50	37,50
4,75	50,00	27,50	34,50	34,50	34,50
5,35	50,00	21,50	30,50	30,50	30,50
6,55	50,00	8,00	20,50	20,50	20,50
7,30	50,00	-----	9,00	9,00	9,00

Obs: A vazão máxima observada neste teste foi de 7,30 l/s

A P E N D I C E "B"

TABELA 1B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE TUBULAÇÃO DE 50mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIÂMETRO INTERNO DE 16mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	1.30	3.50	0.70	0.25	1.20	2.50
	1.95	8.00	1.35	3.00	1.95	5.50
	2.35	12.00	1.95	6.25	2.40	8.50
	2.95	18.50	2.45	10.25	2.90	11.50
	3.50	25.50	2.90	12.50	3.40	16.00
	4.20	36.00	3.95	22.00	4.10	24.00
	4.60	43.50	5.00	45.00	4.90	46.00
40.00	1.20	3.00	1.00	1.50	1.15	2.00
	1.85	8.00	1.70	4.50	2.25	7.50
	2.50	14.50	2.20	8.00	3.05	12.50
	3.00	19.00	2.90	12.25	3.75	20.00
	3.45	26.00	3.65	18.50	4.30	31.00
	4.25	37.00	4.65	37.50	4.50	35.00
30.00	1.20	3.00	1.05	2.00	0.95	1.50
	1.80	6.50	1.80	6.00	1.35	3.25
	2.45	13.50	2.45	10.00	1.95	5.50
	2.90	17.50	3.10	14.25	2.35	8.25
	3.50	25.00	3.80	22.00	2.85	12.50
	3.80	28.00	4.00	27.00	3.55	19.50

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 2B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 50mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 20mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	1.20	1.50	1.75	2.25	1.20	1.50
	1.85	2.50	2.30	4.00	1.70	2.25
	2.45	5.00	3.00	6.50	2.40	5.00
	3.05	6.50	3.35	8.00	3.15	8.00
	3.60	9.50	4.00	11.00	4.05	13.75
	4.20	12.50	4.60	14.00	4.55	17.50
	4.75	15.50	5.30	18.50	5.20	22.00
	5.35	19.50	5.95	24.50	6.00	25.50
	6.55	29.50	6.60	30.00	6.30	33.00
	7.30	41.00	7.40	41.00	7.20	42.25
40.00	1.20	1.50	1.60	2.00	1.20	1.00
	1.70	2.50	2.45	4.50	2.10	4.00
	3.05	7.00	3.05	7.00	2.35	4.50
	3.50	8.00	3.75	9.50	2.95	7.50
	4.10	11.50	4.50	12.00	3.60	11.00
	4.75	16.00	4.85	15.50	4.10	14.00
	5.30	19.50	5.60	20.50	5.00	20.00
	5.80	23.50	5.85	23.50	5.90	29.00
	6.90	35.00	6.50	31.50	6.60	36.00
30.00	1.20	1.50	1.20	1.25	1.50	2.25
	1.70	2.50	1.80	2.50	2.20	4.25
	2.50	5.50	2.40	5.00	2.90	7.50
	3.15	7.50	3.10	7.00	3.55	9.00
	3.60	9.00	3.95	10.50	3.85	12.50
	4.50	14.00	4.20	12.00	4.60	17.50
	5.30	19.00	4.70	15.00	5.00	20.00
	5.90	26.50	5.60	22.25	5.75	27.00

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 3B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 50mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 24mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	1.85	1.50	2.10	1.50	1.95	1.50
	2.40	2.50	2.95	3.50	2.65	3.00
	2.90	3.00	3.60	4.50	3.55	6.50
	4.25	6.00	4.20	6.00	4.75	8.00
	4.60	7.00	4.80	8.00	5.65	11.50
	5.30	9.00	5.70	11.25	6.05	13.00
	5.90	11.00	6.35	14.00	6.45	15.50
	7.00	14.50	6.50	13.00	7.25	18.50
	8.05	20.00	7.60	20.25	7.50	20.00
40.00	1.70	1.50	2.00	2.00	1.75	1.75
	2.10	2.00	3.05	3.50	2.70	3.00
	3.50	4.00	3.70	4.50	4.20	6.50
	4.25	6.00	4.95	8.25	4.55	7.50
	5.00	8.00	5.35	10.00	5.30	10.00
	6.00	11.50	5.90	12.00	5.75	12.50
	6.70	14.00	6.40	18.50	6.50	15.50
	7.20	16.00	8.60	24.00	7.40	20.00
	8.00	19.50	7.80	21.25	8.00	22.50
30.00	1.20	1.00	2.00	2.00	1.20	1.50
	1.95	2.00	3.05	3.50	2.25	2.00
	2.80	3.00	3.70	4.50	3.00	4.00
	3.80	5.50	4.95	8.25	3.85	6.00
	5.10	8.50	5.35	10.00	4.75	8.50
	6.25	12.50	5.90	12.00	6.10	12.00
	6.95	15.00	6.40	18.50	7.20	18.50
	8.00	20.00	8.60	24.00	8.40	26.00

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 4B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 50mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 28mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	3.75	2.00	2.40	0.50	2.50	1.00
	4.65	3.00	3.45	1.50	3.50	2.00
	5.25	3.50	4.25	2.00	4.70	2.50
	5.70	4.50	4.65	2.50	5.75	4.00
	6.90	6.00	5.45	3.50	6.25	4.50
	7.70	7.50	6.20	4.50	7.40	5.75
	8.35	9.00	7.55	5.75	8.20	7.25
	8.55	10.00	8.00	7.00	8.90	9.50
	10.45	11.50	9.45	9.00	10.25	11.50
	11.60	12.50	11.50	12.75	11.70	13.00
40.00	3.35	2.00	2.20	1.00	2.30	1.00
	4.10	2.50	3.60	2.00	3.40	2.00
	4.80	4.00	4.95	3.50	4.85	3.50
	5.75	4.50	6.10	4.00	5.95	4.50
	6.10	5.50	7.10	5.50	7.05	6.00
	7.65	7.00	8.25	7.00	8.25	7.50
	8.30	8.00	9.50	8.50	9.25	9.00
	9.70	10.50	10.60	11.50	11.00	12.00
	11.45	13.50	11.75	15.50	11.80	13.50
	30.00	3.20	1.00	2.35	1.00	1.25
4.30		3.00	3.40	1.50	2.00	1.50
5.05		3.50	4.55	3.00	3.20	2.00
6.40		5.25	5.80	4.00	4.80	3.00
7.30		6.25	6.85	5.50	6.20	4.50
8.55		8.25	7.75	6.25	7.50	6.00
9.95		10.50	9.80	9.50	8.85	8.00
11.35		13.50	10.70	12.00	10.25	11.00

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 5B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 50mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 32mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	1.80	0.25	3.25	0.50	2.00	0.25
	3.40	1.00	4.50	1.00	2.95	0.75
	4.70	1.50	5.60	1.50	4.40	1.50
	6.80	2.50	6.85	2.25	7.00	2.50
	7.25	3.00	7.50	3.00	8.10	3.00
	8.60	3.50	8.90	4.00	9.50	3.50
	10.20	4.50	11.20	5.00	11.35	4.50
40.00	2.95	1.00	2.90	1.50	2.90	1.00
	4.30	1.50	5.10	2.00	5.15	2.50
	5.60	2.25	7.05	3.00	6.10	3.00
	7.30	3.50	8.40	3.50	7.50	3.25
	9.45	4.50	10.40	4.25	8.00	3.50
	11.20	5.50	10.90	4.50	10.75	5.00
30.00	2.50	1.00	1.75	1.00	2.05	1.00
	4.40	1.50	3.15	1.50	3.55	1.50
	7.75	3.00	5.25	2.00	6.45	2.50
	8.20	4.00	7.05	3.00	7.50	3.50
	11.90	4.50	9.95	4.00	10.05	4.00

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 6B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 75mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 20mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	2.30	4.00	1.90	3.00	1.80	2.50
	3.60	8.00	2.40	4.00	2.40	4.00
	4.00	10.50	3.75	12.00	3.45	7.00
	4.80	12.50	4.70	19.00	4.65	12.00
	5.50	15.00	5.10	21.00	5.45	20.00
	6.00	20.00	5.85	27.00	5.90	29.50
	6.65	26.00	6.25	30.00	6.20	33.00
	7.20	27.50	6.80	35.00	7.10	42.00
7.80	43.00	7.00	47.00	8.10	47.00	
40.00	1.60	2.00	1.20	1.50	1.50	2.50
	2.10	4.00	1.95	2.50	2.20	4.50
	3.05	7.00	2.30	5.00	3.10	7.50
	3.55	11.00	3.35	8.00	3.75	12.00
	4.15	13.00	3.95	12.50	4.25	15.00
	4.70	17.50	4.35	17.00	4.70	19.00
	5.20	20.00	5.60	22.00	5.90	22.00
	5.90	29.50	6.10	25.50	6.35	27.50
6.75	38.00	6.90	37.00	7.30	35.00	
30.0	1.90	2.50	1.65	2.00	2.05	2.00
	2.35	4.00	2.10	5.00	2.40	4.00
	3.60	8.00	3.55	11.00	3.45	7.00
	3.90	12.50	3.90	12.50	3.90	12.00
	4.35	15.00	4.65	12.00	4.70	18.00
	5.80	20.00	5.20	21.00	5.10	21.00
	7.10	27.50	5.90	27.00	6.00	27.00

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 7B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 75mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 24mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	2.40	3.00	2.30	2.50	2.50	3.00
	3.55	5.50	3.20	5.50	3.90	5.00
	4.80	9.00	4.70	8.00	5.90	11.00
	6.00	13.00	5.95	13.00	6.90	15.00
	6.90	15.00	7.10	18.00	8.30	20.00
	7.20	18.00	8.30	24.00	9.40	24.00
	8.45	25.00	8.75	28.00	10.15	37.00
	9.70	31.50	9.40	31.00	10.50	41.00
40.00	2.30	2.00	2.45	2.50	2.40	3.00
	3.45	4.50	3.80	5.00	3.45	4.50
	3.60	5.00	4.65	7.50	4.70	8.00
	4.75	8.00	5.90	11.00	5.90	12.00
	5.85	14.00	7.30	16.00	7.50	16.00
	7.10	17.50	8.15	19.00	8.40	22.00
	8.10	23.00	9.05	25.00	9.50	30.00
	9.65	36.50	10.10	37.00	10.05	38.50
30.00	1.95	2.00	2.55	2.00	3.25	4.00
	2.50	3.50	3.40	4.50	4.40	7.00
	3.15	5.00	4.40	6.50	5.15	11.00
	4.50	8.50	5.75	12.00	6.70	15.00
	5.25	11.00	6.70	16.00	7.65	22.00
	7.90	25.00	8.40	28.00	8.75	27.50

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 8B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 75mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 30mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	3.40	2.00	3.50	2.00	2.60	1.00
	4.70	3.50	4.75	3.00	3.60	2.00
	6.00	5.50	5.90	5.00	4.80	3.00
	7.20	9.50	7.15	7.00	6.10	5.00
	8.10	9.50	8.25	9.50	7.20	6.50
	9.40	13.00	9.60	12.00	8.30	8.00
	10.50	15.50	10.50	14.50	9.70	10.00
	11.90	18.00	11.65	19.00	10.90	15.00
40.00	2.40	1.00	2.45	1.00	2.25	1.00
	3.45	2.00	3.70	2.00	3.20	2.00
	4.80	3.50	4.80	3.00	4.80	3.50
	5.85	5.00	6.20	6.00	6.00	6.00
	7.20	7.50	7.15	7.50	7.20	8.00
	8.40	9.50	8.35	9.50	8.30	10.50
	9.60	12.50	9.80	12.00	9.30	13.50
	10.60	16.00	10.10	13.00	10.01	15.50
11.60	19.50	11.65	17.50	11.35	19.50	
30.00	2.00	0.50	2.10	1.00	2.30	1.50
	3.65	1.50	3.80	2.50	3.25	2.50
	4.85	3.50	5.05	4.00	4.30	3.00
	6.40	5.50	6.20	5.50	5.20	4.50
	7.40	8.00	7.25	7.50	7.00	8.00
	8.80	11.00	9.20	11.00	8.20	10.50
	10.60	16.00	10.10	13.50	10.70	18.00
	11.50	18.50	11.25	15.50	11.50	22.00

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 9B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 75mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 36mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	2.00	0.50	3.90	0.50	4.70	1.00
	4.00	1.00	4.50	1.50	6.00	2.00
	6.50	3.00	5.90	2.50	7.20	3.00
	8.30	4.50	7.10	3.00	8.30	4.00
	9.50	5.50	8.40	4.50	9.70	4.50
	10.70	7.00	9.50	5.50	10.80	7.00
	11.90	11.00	11.90	8.50	11.70	8.50
40.00	3.80	1.50	3.00	1.00	2.80	0.50
	5.80	2.00	4.50	1.50	3.90	1.00
	7.80	3.00	6.00	2.00	4.70	1.50
	8.10	4.00	7.65	3.50	6.40	2.00
	9.30	5.00	8.80	3.75	8.30	4.50
	10.40	6.50	10.15	6.00	10.60	7.00
	11.20	8.00	11.50	8.00	11.90	8.50
30.00	2.85	0.50	3.15	1.00	4.00	1.00
	4.10	1.00	4.60	1.50	5.30	1.50
	5.20	2.00	6.50	3.00	6.70	2.50
	7.15	3.00	7.05	3.50	7.50	3.00
	8.70	5.00	8.50	4.50	8.30	5.00
	10.10	5.50	9.90	5.00	9.80	6.00
	11.80	9.00	11.50	8.50	10.90	8.50

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

TABELA 10B - DADOS MEDIOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO, USANDO-SE A TUBULAÇÃO DE 75mm E REGULADOR DE PRESSÃO DE DIAMETRO INTERNO DE 42mm

PRESSÃO DE ENTRADA (mca)	DISPOSITIVO "A"		DISPOSITIVO "B"		DISPOSITIVO "C"	
	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)	VAZÃO (l/s)	dp (mca)
50.00	4.60	0.50	4.65	0.50	3.50	0.50
	5.95	1.00	6.00	1.00	5.50	1.00
	7.25	1.50	7.10	2.00	6.90	1.50
	8.30	2.00	8.00	2.00	8.50	2.00
	9.60	2.50	9.50	2.50	9.20	2.50
	10.40	3.50	10.70	3.00	10.50	3.00
40.00	4.70	0.50	4.70	0.50	4.50	0.50
	5.90	1.00	5.90	1.00	6.00	1.00
	7.10	1.00	7.30	1.50	7.50	1.50
	8.30	2.00	8.20	1.50	8.50	2.00
	9.50	2.00	9.40	2.00	9.50	2.50
	10.60	3.00	10.50	3.00	10.70	3.00
30.00	11.90	4.00	11.50	3.50	11.30	3.00
	4.50	0.50	2.00	0.00	4.70	0.50
	5.10	1.00	4.60	0.50	5.60	1.00
	6.50	1.50	5.50	1.00	6.90	1.50
	8.20	1.50	7.20	1.00	8.30	2.00
	9.40	2.50	8.70	1.50	10.10	3.00
11.00	3.50	10.90	2.50	11.50	3.50	

dp --> PRESSÃO DISSIPADA PELO REGULADOR DE PRESSÃO

A P E N D I C E "C"

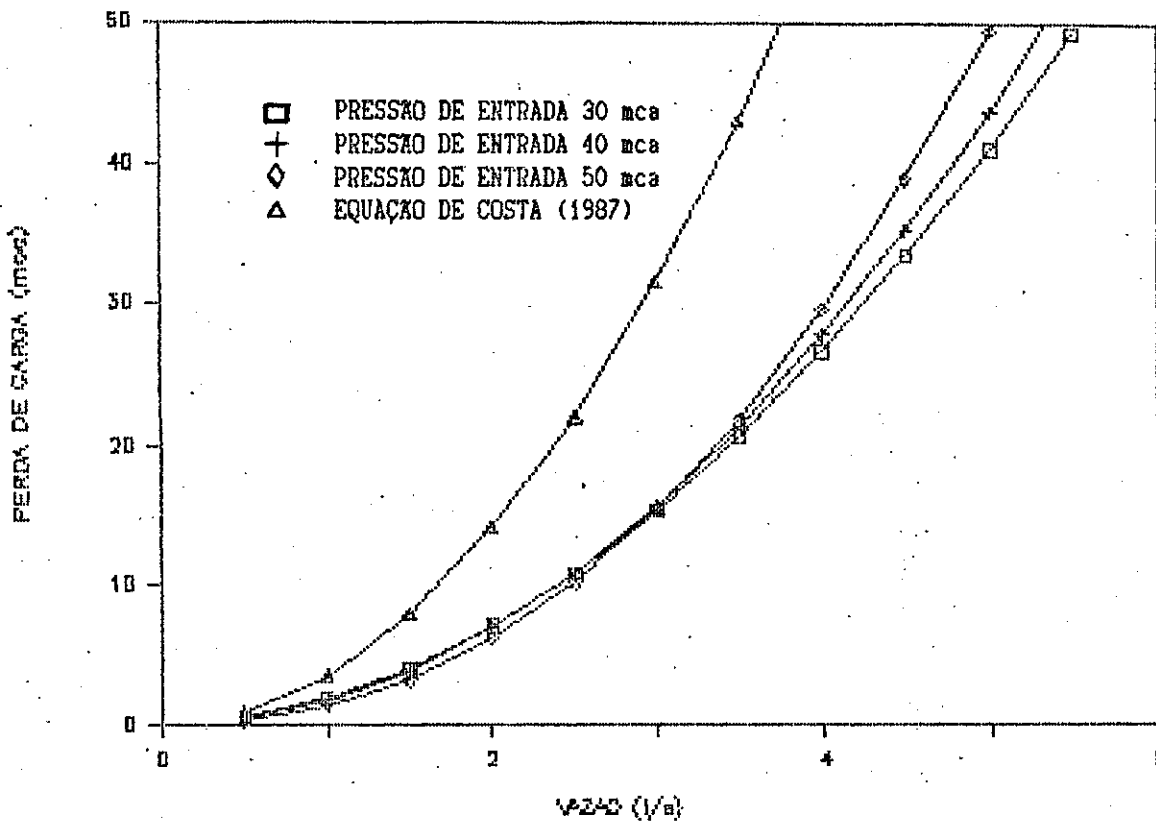


FIGURA 01C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 16mm na Tubulação de 50mm.

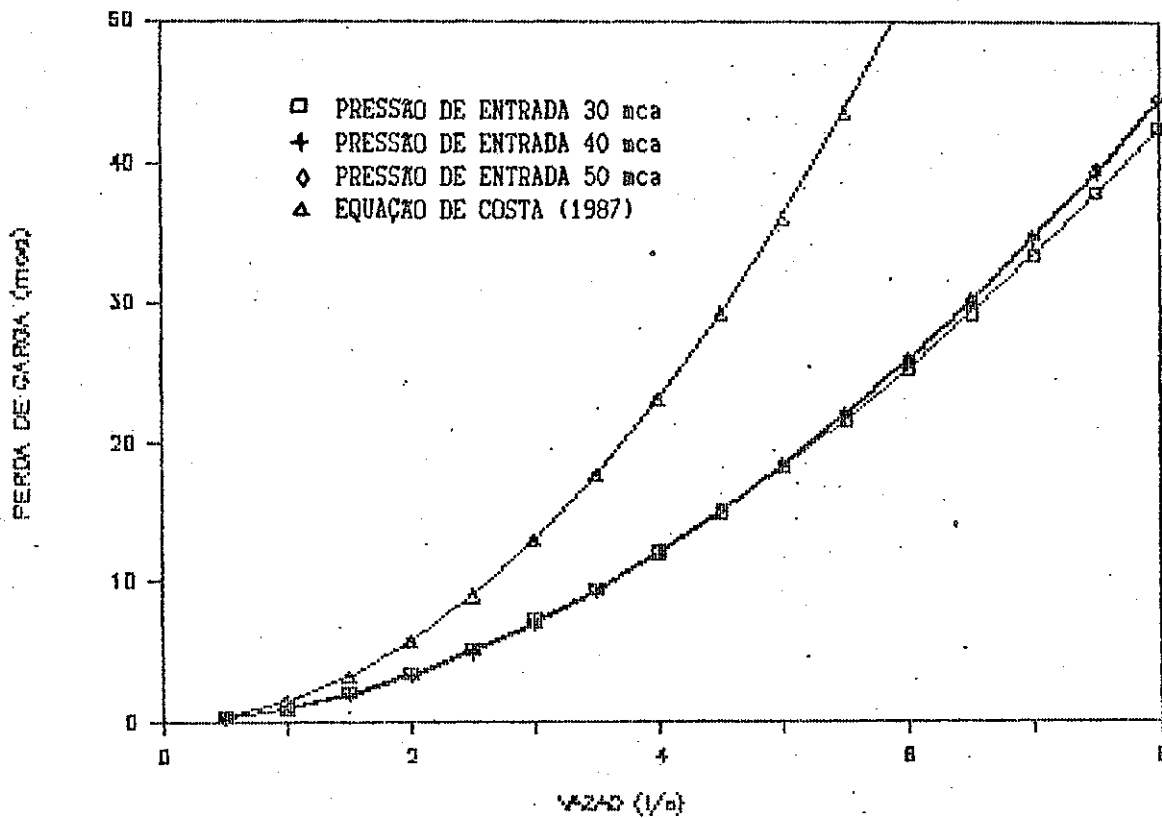


FIGURA 02C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm na Tubulação de 50mm.

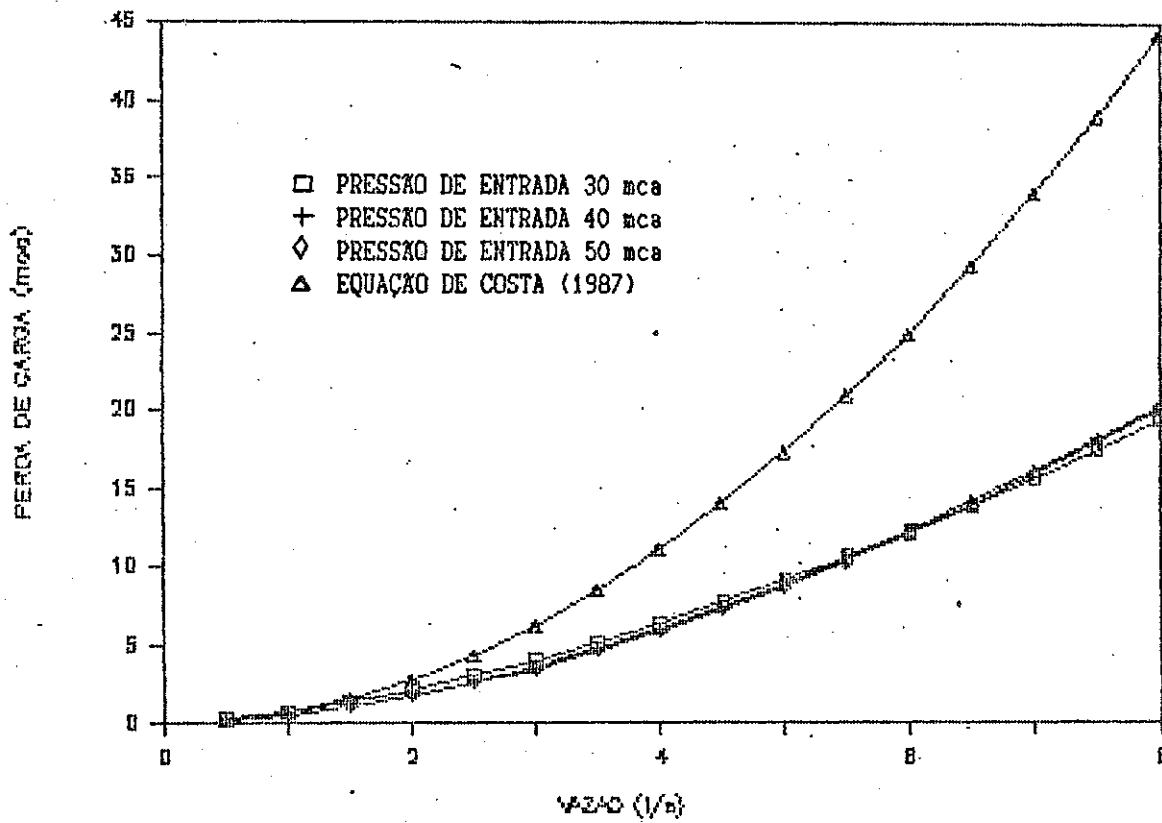


FIGURA 03C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm na Tubulação de 50mm.

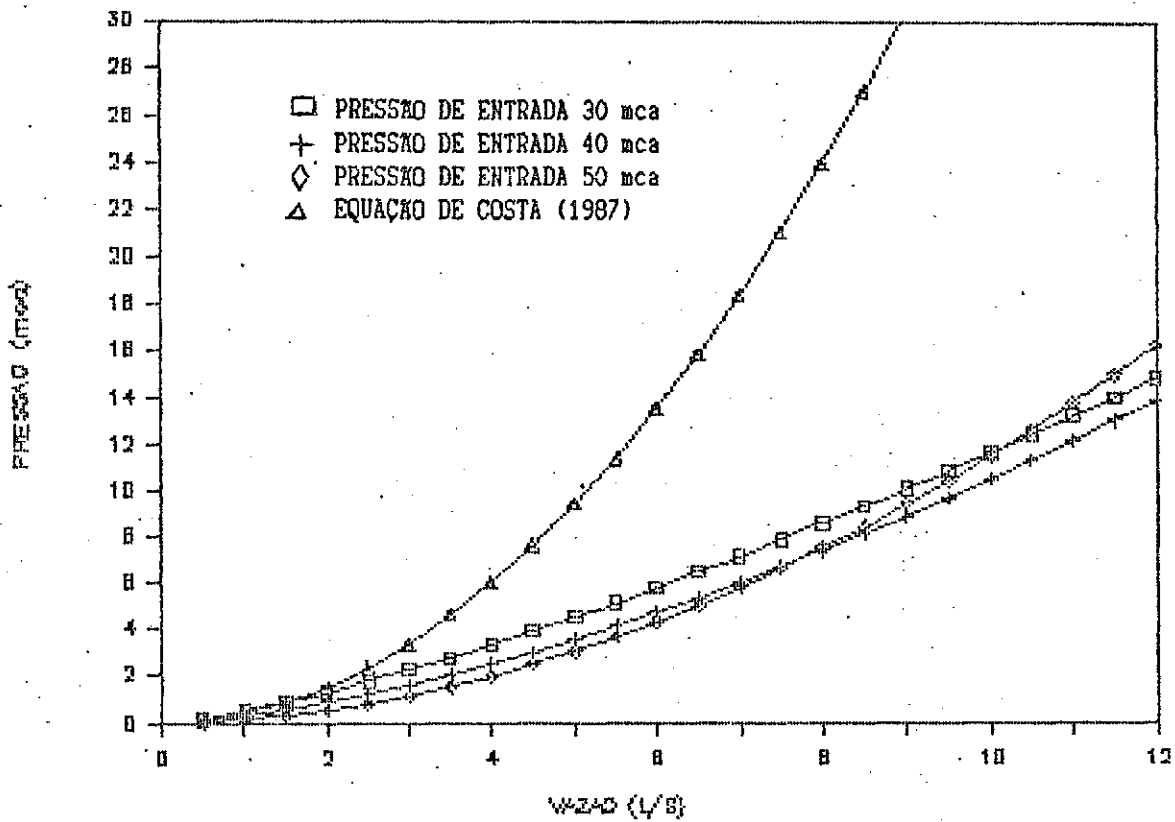


FIGURA 04C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 28mm na Tubulação de 50mm.

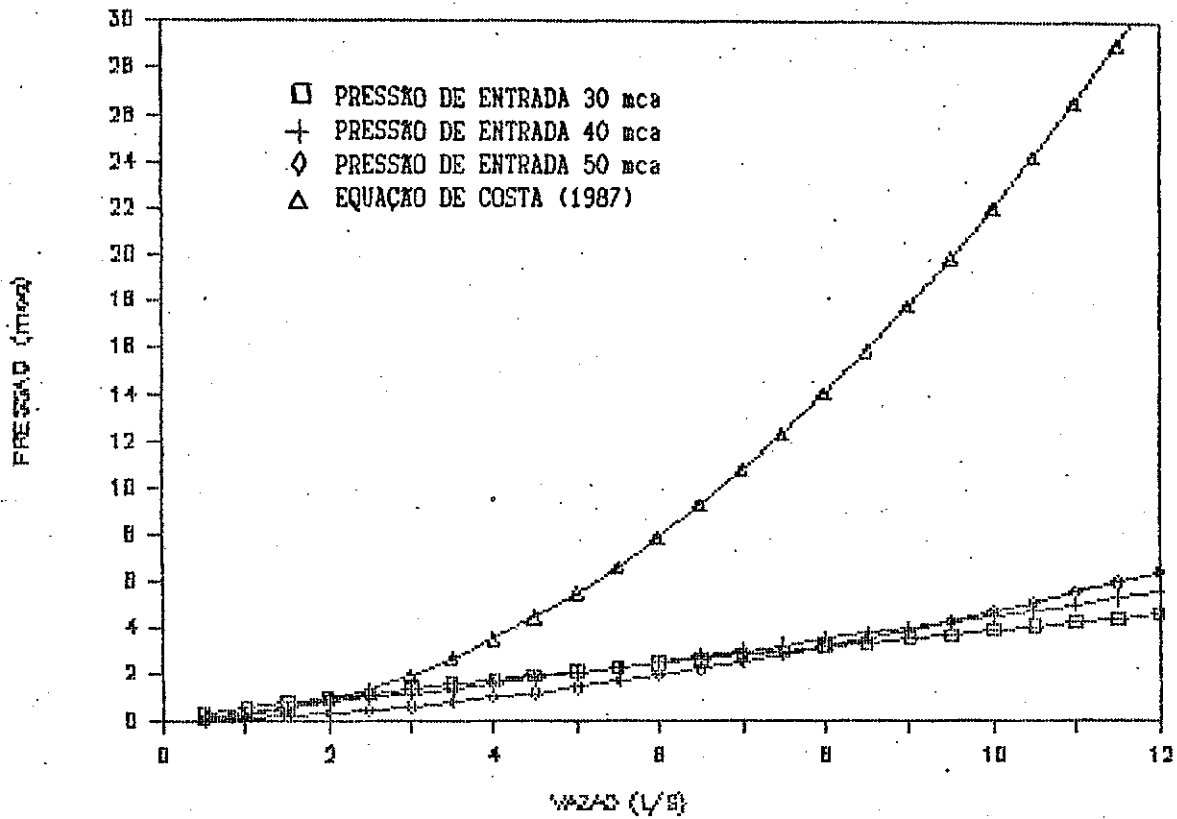


FIGURA 05C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 32mm na Tubulação de 50mm.

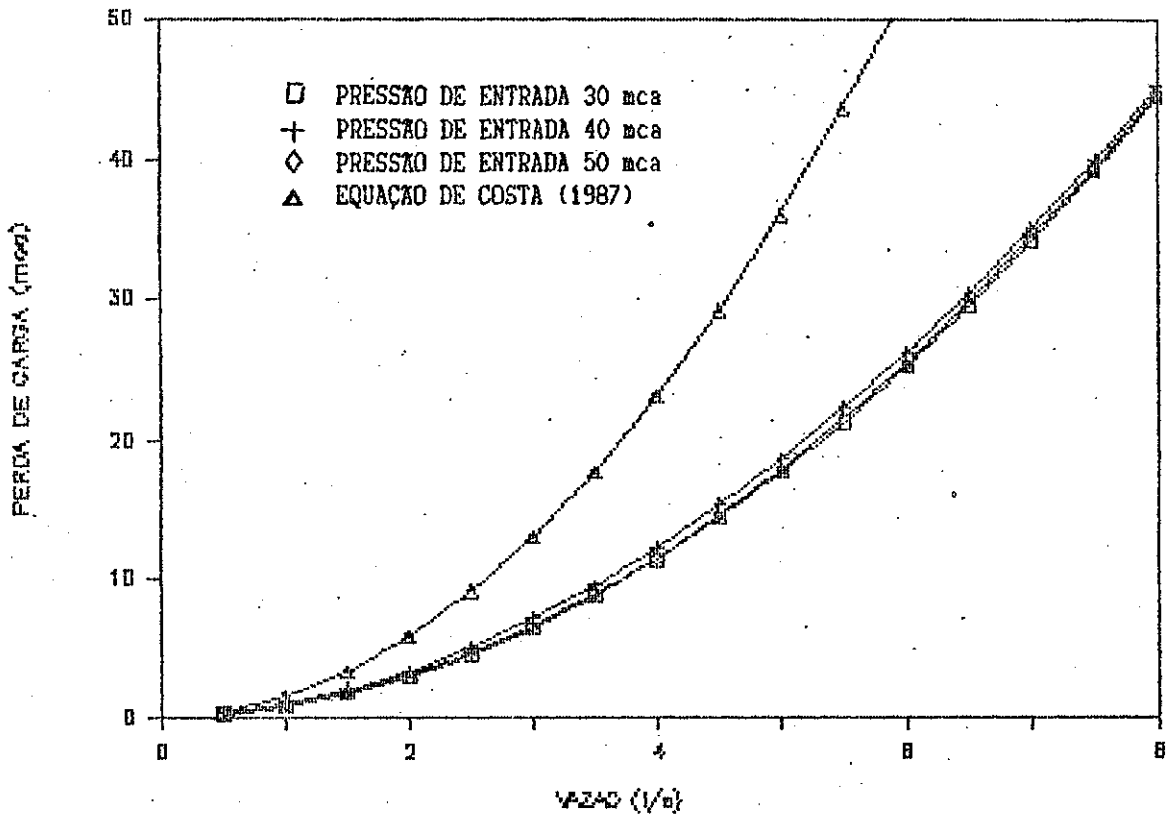


FIGURA 06C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 20mm na Tubulação de 75mm.

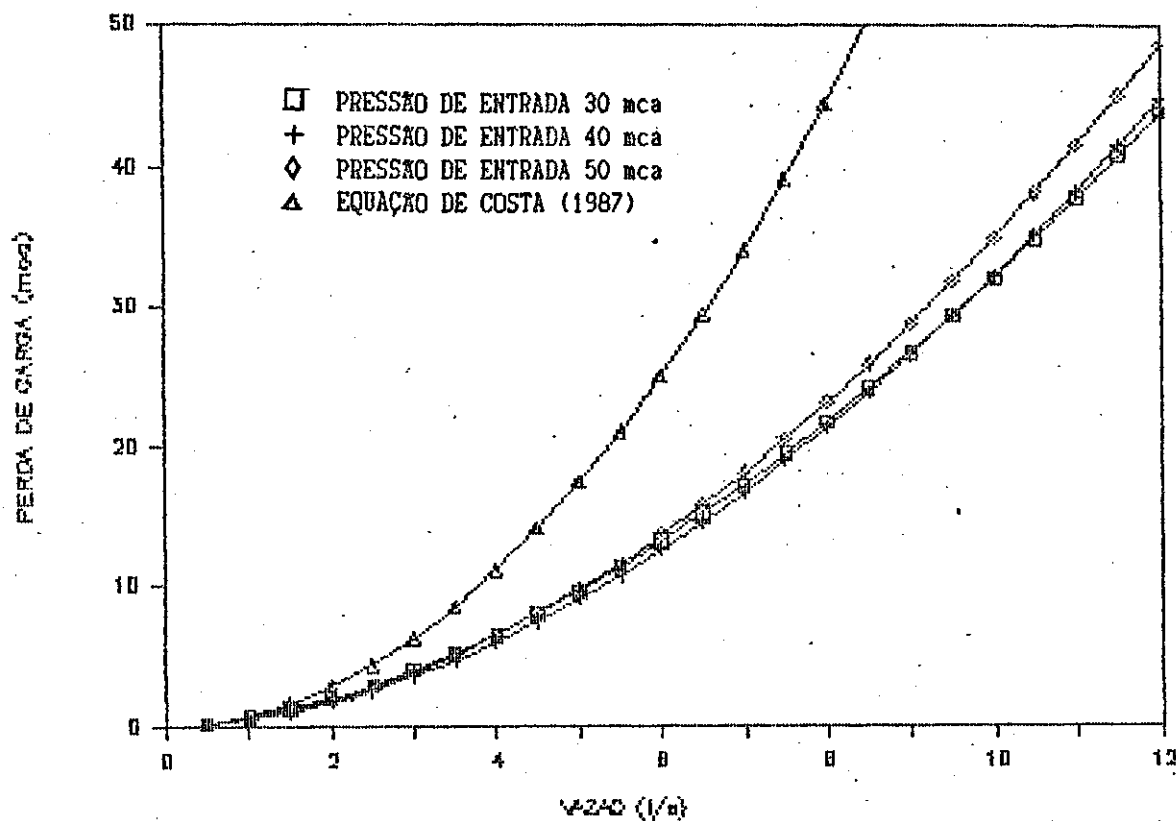


FIGURA 07C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 24mm na Tubulação de 75mm.

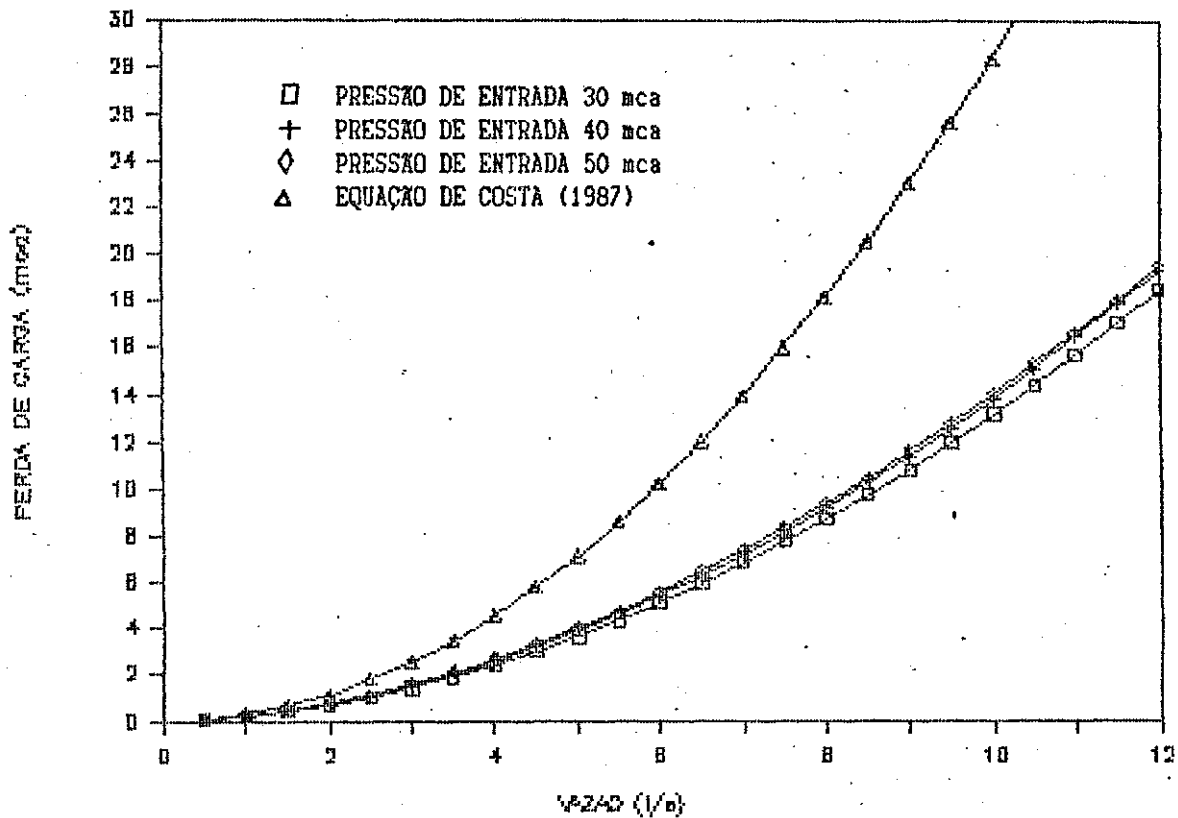


FIGURA OBC - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 30mm na Tubulação de 75mm.

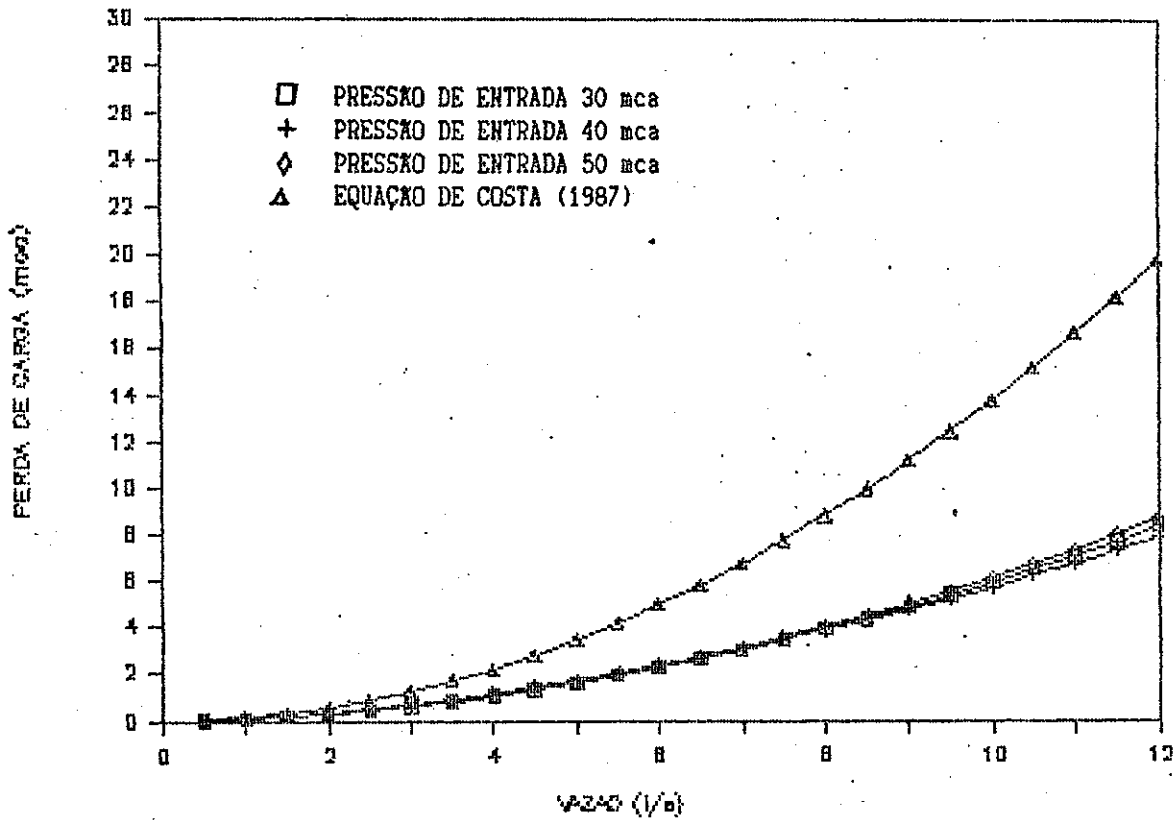


FIGURA 09C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 36mm na Tubulação de 75mm.

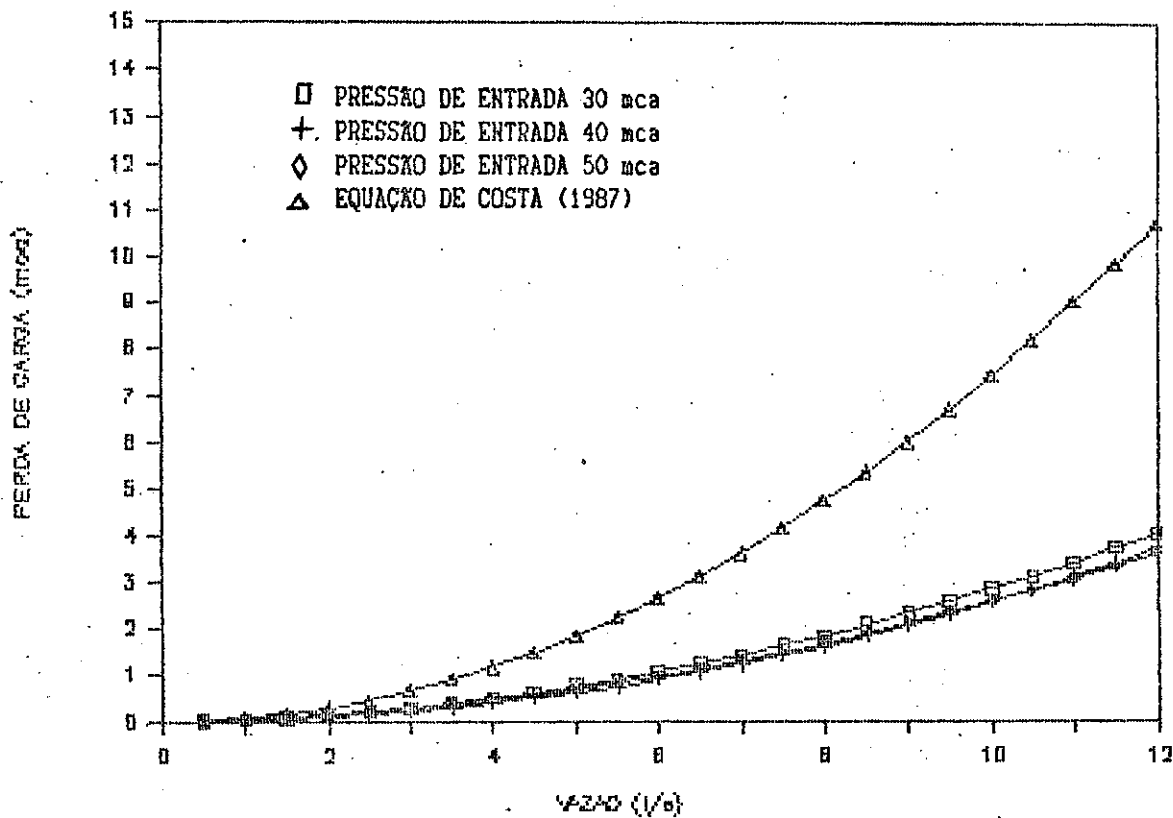


FIGURA 10C - Representação Gráfica da perda de Carga provocada pelo Regulador de Pressão de Diâmetro Interno de 42mm na Tubulação de 75mm.

A P E N D I C E "D"

AFERIÇÃO DO ROTÂMETRO 01 PELO MÉTODO VOLUMÉTRICO

TABELA 10

VAZÃO DO ROTÂMETRO Qt (l/s)	VOLUME COLETADO (l)	T E M P O (min : s , 1/100s)			TEMPO MEDIO (min:s,1/100s)	VAZÃO MEDIDA VOLUMÉTRIC. (l/s)	VAZÃO MEDIA MEDIDA VOLUM. Qt (l/s)	DIFERENÇA (Qt-Qr) (%)
		T1	T2	T3				
0,60	50,00	1:28,35	1:29,50	1:30,75	1:29,53	0,56	0,56	6,7
	75,00	2:16,05	2:18,99	2:16,14	2:17,06	0,55		
	100,00	2:58,39	2:54,63	2:58,09	2:57,04	0,56		
1,20	50,00	0:42,47	0:42,95	0:43,42	0:42,95	1,16	1,16	3,0
	75,00	1:04,59	1:04,86	1:04,86	1:04,77	1,16		
	100,00	1:26,76	1:26,19	1:26,62	1:26,52	1,16		
1,80	50,00	0:28,35	0:28,70	0:28,23	0:28,43	1,76	1,77	1,7
	75,00	0:42,34	0:42,39	0:42,28	0:42,34	1,77		
	100,00	0:56,50	0:56,63	0:56,34	0:56,49	1,77		
2,40	50,00	0:20,89	0:21,35	0:21,50	0:21,25	2,35	2,32	3,3
	75,00	0:32,03	0:32,89	0:32,84	0:32,58	2,30		
	100,00	0:43,22	0:43,25	0:43,07	0:43,30	2,31		
3,00	50,00	0:17,49	0:17,66	0:17,64	0:17,59	2,84	2,85	5,0
	75,00	0:26,47	0:26,03	0:26,39	0:26,30	2,85		
	100,00	0:35,06	0:34,98	0:34,90	0:34,98	2,86		
3,60	50,00	0:14,80	0:14,90	0:14,75	0:14,82	3,37	3,42	5,0
	75,00	0:21,76	0:21,48	0:21,48	0:21,57	3,48		
	100,00	0:29,75	0:28,87	0:29,36	0:29,33	3,41		
4,20	50,00	0:12,67	0:12,77	0:12,65	0:12,70	3,94	4,03	4,2
	75,00	0:18,75	0:18,53	0:18,65	0:18,64	4,02		
	100,00	0:24,33	0:24,29	0:24,27	0:24,30	4,12		
4,80	50,00	0:11,01	0:10,98	0:10,89	0:10,96	4,56	4,57	4,8
	75,00	0:17,03	0:16,23	0:16,76	0:16,67	4,50		
	100,00	0:21,53	0:21,40	0:21,51	0:21,48	4,66		
5,40	50,00	0:09,68	0:09,67	0:09,89	0:09,75	5,13	5,11	5,4
	75,00	0:14,57	0:14,69	0:14,59	0:14,63	5,13		
	100,00	0:19,62	0:19,79	0:19,59	0:19,67	5,08		
6,00	50,00	0:08,60	0:08,75	0:08,65	0:08,67	5,77	5,79	3,5
	75,00	0:12,98	0:12,95	0:12,75	0:12,89	5,82		
	100,00	0:17,13	0:17,40	0:17,29	0:17,27	5,79		

AFERIÇÃO DO ROTÂMETRO 02 PELO METODO VOLUMETRICO

TABELA 20

VAZÃO DO RATAMETRO Qt (l/s)	VOLUME COLETADO (l)	T E M P O (min : s , 1/100s)			TEMPO MEDIO (min:s, 1/100s)	VAZÃO MEDIDA VOLUMETRIC. (l/s)	VAZÃO MEDIA MEDIDA VOLUMET. Qt (l/s)	DIFERENÇA (Qt-Qr) (%)
		T1	T2	T3				
0,60	50,00	1:29,37	1:30,41	1:30,01	1:29,93	0,56	0,56	6,7
	75,00	2:15,08	2:14,86	2:16,16	2:15,37	0,55		
	100,00	2:57,83	2:57,89	2:58,89	2:58,20	0,56		
1,20	50,00	0:41,76	0:41,62	0:41,82	0:41,73	1,20	1,19	0,8
	75,00	1:03,55	1:03,51	1:03,56	1:03,54	1,18		
	100,00	1:24,23	1:24,13	1:24,08	1:24,15	1,19		
1,80	50,00	0:28,75	0:28,76	0:28,79	0:28,77	1,74	1,73	3,9
	75,00	0:43,59	0:43,63	0:43,69	0:43,64	1,72		
	100,00	0:57,39	0:57,67	0:57,07	0:57,38	1,74		
2,40	50,00	0:21,74	0:21,24	0:21,65	0:21,54	2,32	2,30	4,2
	75,00	0:32,91	0:32,93	0:32,97	0:32,94	2,28		
	100,00	0:43,57	0:43,44	0:43,56	0:43,52	2,30		
3,00	50,00	0:17,59	0:17,38	0:16,63	0:17,20	2,91	2,94	2,0
	75,00	0:25,60	0:25,74	0:25,17	0:25,50	2,94		
	100,00	0:33,81	0:34,04	0:33,41	0:33,75	2,96		
3,60	50,00	0:14,46	0:14,49	0:14,35	0:14,43	3,47	3,48	3,3
	75,00	0:21,61	0:21,56	0:21,67	0:21,61	3,47		
	100,00	0:28,50	0:28,47	0:28,61	0:28,53	3,51		
4,20	50,00	0:12,51	0:12,56	0:12,39	0:12,49	4,00	4,03	4,0
	75,00	0:18,57	0:18,61	0:18,59	0:18,59	4,03		
	100,00	0:24,57	0:24,53	0:24,60	0:24,57	4,07		
4,80	50,00	0:10,77	0:10,75	0:10,77	0:10,76	4,65	4,64	3,3
	75,00	0:16,29	0:16,19	0:16,29	0:16,26	4,61		
	100,00	0:21,45	0:21,49	0:21,51	0:21,48	4,66		
5,40	50,00	0:09,59	0:09,15	0:09,79	0:09,51	5,26	5,27	2,4
	75,00	0:13,77	0:14,56	0:14,45	0:14,26	5,26		
	100,00	0:19,08	0:18,63	0:19,12	0:18,94	5,28		
6,00	50,00	0:08,59	0:08,67	0:08,72	0:08,66	5,77	5,79	3,5
	75,00	0:12,91	0:12,84	0:13,04	0:12,93	5,80		
	100,00	0:17,16	0:17,24	0:17,25	0:17,22	5,81		

A P E N D I C E "E"

TABELA E1 - DIFERENÇA ABSOLUTA E EM PÉRCENTAGEM DA PERDA DE CARGA OBTIDA ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO E PROPOSTA POR COSTA, EM FUNÇÃO DO DIAMETRO

INTERNO DO REGULADOR DE PRESSÃO NA TUBULAÇÃO DE 50mm

VAZÃO (l/s)	VEL.* (m/s)	DIAMETRO 16mm				DIAMETRO 20mm				DIAMETRO 24mm				DIAMETRO 28mm				DIAMETRO 32mm			
		EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %
0.50	0.29	0.36	0.88	0.52	40.94	0.25	0.36	0.11	69.44	0.18	0.17	-0.01	105.88	0.10	0.09	-0.01	111.11	0.09	0.05	-0.04	100.00
1.00	0.58	1.55	3.51	1.96	44.16	0.91	1.44	0.53	63.19	0.58	0.69	0.11	84.06	0.28	0.38	0.10	73.68	0.22	0.22	0.00	100.00
1.50	0.86	3.64	7.91	4.27	46.02	1.93	3.24	1.31	59.57	1.15	1.56	0.41	73.72	0.53	0.84	0.31	63.10	0.38	0.49	0.11	77.55
2.00	1.15	6.66	14.06	7.40	47.37	3.31	5.75	2.44	57.57	1.88	2.78	0.90	67.63	0.82	1.50	0.68	54.67	0.55	0.88	0.33	62.50
2.50	1.44	10.64	21.96	11.32	48.45	5.03	8.99	3.96	55.95	2.76	4.34	1.58	63.59	1.16	2.35	1.18	49.47	0.74	1.37	0.63	54.01
3.00	1.73	15.60	31.63	16.03	49.32	7.07	12.95	5.88	54.59	3.76	6.25	2.49	60.16	1.54	3.38	1.84	45.56	0.94	1.98	1.04	47.47
3.50	2.02	21.56	43.05	21.49	50.08	9.43	17.62	8.19	53.52	4.90	8.50	3.60	57.65	1.96	4.60	2.64	42.61	1.16	2.69	1.53	43.12
4.00	2.31	28.54	56.23	27.69	50.76	12.11	23.01	10.90	52.63	6.16	11.10	4.94	55.50	2.41	6.00	3.59	40.17	1.38	3.51	2.13	39.32
4.50	2.59	36.55	71.16	34.61	51.36	15.09	29.13	14.04	51.80	7.53	14.05	6.52	53.59	2.89	7.60	4.71	38.03	1.62	4.45	2.83	36.40
5.00	2.88	45.60	87.86	42.26	51.90	18.38	35.96	17.58	51.11	9.02	17.35	8.33	51.99	3.40	9.38	5.98	36.25	1.86	5.49	3.63	33.88
5.50	3.17	55.60	106.31	50.71	52.30	21.96	43.51	21.55	50.47	10.61	21.00	10.39	50.52	3.94	11.35	7.41	34.71	2.11	6.64	4.53	31.78
6.00	3.46	66.07	126.51	59.64	52.06	25.84	51.78	25.94	49.90	12.32	24.99	12.67	49.30	4.51	13.51	9.00	33.38	2.37	7.90	5.53	30.00
6.50	3.75	79.11	148.48	69.37	53.28	30.01	60.77	30.76	49.38	14.12	29.32	15.20	48.16	5.11	15.85	10.74	32.24	2.64	9.28	6.64	28.45
7.00	4.03	92.43	172.20	79.77	53.68	34.48	70.48	36.00	48.92	16.03	34.01	17.98	47.13	5.73	18.38	12.65	31.18	2.91	10.76	7.85	27.04
7.50	4.32	106.04	197.67	90.03	54.05	39.22	80.91	41.69	48.47	18.04	39.04	21.00	46.21	6.38	21.11	14.73	30.22	3.19	12.35	9.16	25.83
8.00	4.61	122.34	224.91	102.57	54.40	44.25	92.06	47.81	48.07	20.14	44.42	24.28	45.34	7.05	24.01	16.96	29.36	3.48	14.05	10.57	24.77

VEL.* --> VELOCIDADE NA TUBULAÇÃO

A* -----> DIFERENÇA ABSOLUTA = (COSTA - EXPER.)

B* -----> DIFERENÇA EM PERCENTAGEM = (EXPER. / COSTA) * 100

XXXX ----> VALORES FORA DO LIMITE DO EXPERIMENTO

TABELA E2 - DIFERENÇA ABSOLUTA E EM PORCENTAGEM DA PERDA DE CARGA OBTIDA ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO E PROPOSTA POR COSTA, EM FUNÇÃO DO DIAMETRO

INTERNO DO REGULADOR DE PRESSÃO NA TUBULAÇÃO DE 75mm

VAZAO (Q)	VEL.* (m/s)	DIAMETRO 20mm				DIAMETRO 24mm				DIAMETRO 30mm				DIAMETRO 36mm				DIAMETRO 42mm			
		EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %
0.50	0.13	0.23	0.36	0.13	69.89	0.14	0.17	0.03	82.35	0.06	0.07	0.01	85.71	0.02	0.03	0.01	66.67	0.01	0.02	0.01	50.00
1.00	0.26	0.85	1.44	0.59	59.03	0.53	0.69	0.16	76.81	0.21	0.29	0.08	72.41	0.09	0.15	0.06	60.00	0.03	0.07	0.04	42.86
1.50	0.38	1.84	3.24	1.40	56.79	1.13	1.56	0.43	72.44	0.43	0.64	0.21	67.19	0.18	0.31	0.13	58.06	0.07	0.17	0.10	41.18
2.00	0.51	3.18	5.75	2.57	55.30	1.93	2.78	0.85	69.42	0.73	1.14	0.41	64.04	0.31	0.55	0.24	56.36	0.12	0.30	0.18	40.00
2.50	0.64	4.86	8.99	4.13	54.06	2.93	4.34	1.41	67.51	1.09	1.78	0.69	61.24	0.47	0.85	0.38	55.29	0.18	0.46	0.28	39.13
3.00	0.77	6.88	12.95	6.07	53.13	4.13	6.25	2.12	66.08	1.52	2.56	1.04	59.38	0.65	1.23	0.58	52.85	0.26	0.66	0.40	39.39
3.50	0.90	9.22	17.62	8.40	52.33	5.51	8.50	2.99	64.82	2.01	3.49	1.48	57.59	0.86	1.67	0.81	51.50	0.35	0.90	0.55	38.89
4.00	1.02	11.88	23.01	11.13	51.63	7.07	11.10	4.03	63.69	2.57	4.55	1.98	56.48	1.10	2.18	1.08	50.46	0.45	1.17	0.72	38.46
4.50	1.15	14.86	29.13	14.27	51.01	8.81	14.05	5.24	62.70	3.18	5.76	2.58	55.21	1.37	2.76	1.39	49.64	0.57	1.48	0.91	38.51
5.00	1.28	18.15	35.96	17.81	50.47	10.73	17.35	6.62	61.84	3.85	7.11	3.26	54.15	1.66	3.41	1.75	48.68	0.70	1.83	1.13	38.25
5.50	1.41	21.76	43.51	21.75	50.01	12.82	21.00	8.18	61.05	4.58	8.60	4.02	53.26	1.97	4.13	2.16	47.70	0.84	2.22	1.38	37.84
6.00	1.54	25.67	51.78	26.11	49.58	15.09	24.99	9.90	60.38	5.37	10.24	4.87	52.44	2.31	4.91	2.60	47.05	1.00	2.64	1.64	37.88
6.50	1.67	29.89	60.77	30.88	49.19	17.52	29.32	11.80	59.75	6.21	12.01	5.80	51.71	2.68	5.77	3.09	46.45	1.16	3.09	1.93	37.54
7.00	1.79	34.41	70.48	36.07	48.82	20.13	34.01	13.88	59.19	7.11	13.93	6.82	51.04	3.07	6.69	3.62	45.89	1.34	3.59	2.25	37.33
7.50	1.92	39.23	80.91	41.68	48.49	22.90	39.04	16.14	58.66	8.06	15.99	7.93	50.41	3.48	7.68	4.20	45.31	1.54	4.12	2.58	37.38
8.00	2.05	44.34	92.06	47.72	48.16	25.84	44.42	18.58	58.17	9.07	18.19	9.12	49.86	3.92	8.74	4.82	44.85	1.74	4.69	2.95	37.10

VEL.* --> VELOCIDADE INTERNA NA TUBULACAO
A* ----> DIFERENÇA ABSOLUTA = (COSTA -EXPER.)
B* ----> DIFERENÇA EM PORCENTAGEM = (EXPER. / COSTA) * 100
XXXX ---> VALORES FORA DO LIMITE DO EXPERIMENTO

TABELA E2 - DIFERENÇA ABSOLUTA E EM PORCENTAGEM DA PERDA DE CARGA OBTIDA ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO E PROPOSTA POR COSTA, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO

INTERNO DO REGULADOR DE PRESSÃO NA TUBULAÇÃO DE 75mm (CONTINUAÇÃO)

VAZÃO (Q)	VEL.* (l/s)	DIÂMETRO 20mm		DIÂMETRO 24mm		DIÂMETRO 30mm		DIÂMETRO 36mm		DIÂMETRO 42mm											
		EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %	EXPER. (mca)	COSTA (mca)	A* mca	B* %								
8.50	2.18	49.76	103.92	54.16	47.88	28.94	50.15	21.21	57.71	10.13	20.53	10.40	49.34	4.38	9.86	5.48	44.42	1.96	5.29	3.33	37.05
9.00	2.31	55.46	116.54	61.05	47.60	32.20	56.22	24.02	57.27	11.24	23.02	11.78	48.83	4.86	11.06	6.20	43.94	2.19	5.93	3.74	36.93
9.50	2.43	61.46	129.82	68.36	47.94	35.63	62.64	27.01	56.88	12.40	25.64	13.24	48.36	5.37	12.32	6.95	43.59	2.43	6.61	4.18	36.76
10.00	2.56	67.76	143.84	76.08	47.44	39.22	69.41	30.19	56.50	13.61	28.41	14.80	47.91	5.90	13.65	7.75	43.22	2.68	7.32	4.64	36.61
10.50	2.69	74.34	158.58	84.24	46.88	42.96	76.52	33.56	56.14	14.87	31.32	16.45	47.48	6.45	15.05	8.60	42.86	2.95	8.07	5.12	36.56
11.00	2.82	81.24	174.05	92.84	46.66	46.07	89.98	37.44	55.84	16.19	34.37	18.18	47.11	7.02	16.51	9.49	42.52	3.23	8.86	5.63	36.46
11.50	2.95	88.36	190.29	101.97	46.45	50.99	91.79	40.86	55.49	17.55	37.56	20.01	46.73	7.61	18.05	10.44	42.16	3.52	9.69	6.17	36.33
12.00	3.07	95.84	207.19	111.32	46.26	55.15	99.94	44.79	55.10	18.97	40.89	21.92	46.39	8.23	19.65	11.42	41.88	3.82	10.55	6.73	36.21

VEL.* --> VELOCIDADE INTERNA NA TUBULAÇÃO

A* ----> DIFERENÇA ABSOLUTA = (COSTA - EXPER.)

B* ----> DIFERENÇA EM PORCENTAGEM = (EXPER. / COSTA) * 100

XXXX ---> VALORES FORA DO LIMITE DO EXPERIMENTO