

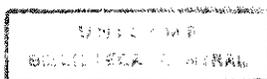
**Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Civil**

**Wlamir Rodrigues**

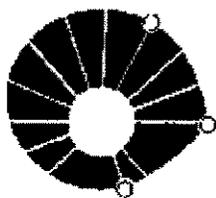
*Resposta Dinâmica de Válvula de Controle Automática em Redes Hidráulicas*

**Orientador: Prof. Dr. Edmundo Koelle**

**Campinas – 1998**



2396066



**Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Civil**

**Wlamir Rodrigues**

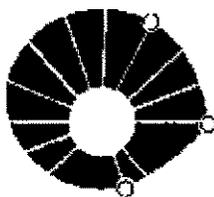
*Resposta Dinâmica de Válvula de Controle Automática em Redes Hidráulicas*

**Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Campinas  
para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia**

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.
Prof. Dr. 
Matrícula: 1814/99

**Orientador: Prof. Dr. Edmundo Koelle**

**Campinas – 1998**



**Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Civil**

*Resposta Dinâmica de Válvula de Controle Automática em Redes Hidráulicas*

**Wlamir Rodrigues**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edmundo Koelle', written over a horizontal line.

**Prof. Dr. Edmundo Koelle  
Presidente e Orientador / FEC – UNICAMP**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio Sato', written over a horizontal line.

**Prof. Dr. Julio Sato  
FEAGRI – UNICAMP**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Geraldo Pena de Andrade', written over a horizontal line.

**Prof. Dr. José Geraldo Pena de Andrade  
FEC – UNICAMP**

**Campinas, 4 de Dezembro de 1.998**

Este trabalho é dedicado à memória de Deolinda de Lima Zorzetto, minha Avó, que com amor e simplicidade soube transmitir tantos ensinamentos.

À Mazé, minha esposa, obrigado pelo apoio, compreensão, crítica e estímulo ao longo deste trabalho. Sem você meu caminho teria sido muito mais difícil.

### Agradeço:

- A Deus que, em sua infinita bondade, me concedeu o privilégio de poder estudar e chegar a uma Universidade.
- Aos meus pais, Osmar Rodrigues e Cleusa Pagani Rodrigues que, mesmo com dificuldades, não mediram esforços para que seus filhos tivessem a oportunidade de se educarem.
- Ao Prof. Dr. Edmundo Koelle, meu orientador, que ao longo deste trabalho, com a dedicação e a competência dos ensinamentos transmitidos, proporcionou-me um amadurecimento pessoal e profissional. Sua capacidade e profissionalismo fazem-no um exemplo a ser seguido.
- Ao Engº João Gilberto Lotufo Conejo, Diretor Técnico da SANASA (1993 – 1996), pelo estímulo e pela oportunidade de realizar este trabalho.
- À SANASA, pela oportunidade de ampliar e atualizar meus conhecimentos profissionais.
- Ao Prof. Dr. José Geraldo Pena de Andrade, exemplo de dedicação e amor à profissão de professor universitário, pelo apoio, auxílio e orientação. Sua contribuição foi imprescindível ao sucesso deste estudo.
- Ao Prof. Dr. Edevar Luvizotto Jr., pelo apoio e pela valiosa contribuição para aquisição dos dados experimentais.
- À Companhia Metalúrgica Barbará, na pessoa do Engº José Sidney de Araújo, pela oportunidade de poder utilizar as instalações de modelação da fábrica para aquisição dos dados experimentais.
- Aos Srs. Edson Luiz Rigonato e Cirso Berto, pela ajuda e auxílios práticos no conhecimento de Válvulas de Controle Automáticas dentro da SANASA.

## RESUMO

Com o crescimento das cidades, os sistemas de abastecimento foram tornando-se cada vez mais complexos e diversificados, dificultando o controle e a operação como um todo.

Movido pela necessidade de uma operação segura e confiável, cada vez mais elementos auxiliares tem sido inseridos nos sistemas, tais como: válvulas de controle automáticas (VCA), bombas de rotação variável, inversores de frequência, ...; porém, sem conhecer quais são os limites de operação destes elementos, não saberemos utilizar plenamente seus benefícios.

Neste trabalho procurou-se apresentar de forma sintética VCA de 13 fabricantes diferentes, seus componentes, funções e verificar de forma empírica através de ensaios, sua eficácia operacional.

## **ABSTRACT**

With the development of the cities, the system of supply became more complex and diversified, making it more difficult the control and operation as a whole.

Moved by the necessity of a safe and reliable operation, auxiliary elements are introduced in the system, for example: automatic control valves (ACV), pumps of variable rotation, inverse frequency,...; but unknown operation limits of these elements, it's impossible to know all their benefits.

In this work 13 different manufactors of ACV are studied, its components, functions and verification, in an empirical form, through tests, the most efficient operation.

**SUMÁRIO**

Lista de Símbolos.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Gráficos.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xiv
1. Apresentação.....	1
2. A Válvula de Controle Automática (VCA).....	2
2.1 – Descrição Básica.....	3
2.2 – Descrição dos Componentes.....	6
2.2.1 – Corpo.....	6
2.2.2 – Atuador.....	9
2.2.3 – Controlador.....	10
2.3 – Problemas Operacionais.....	12
2.3.1 – Perda de Referência.....	13
2.3.2 – Instabilidade Operacional.....	14
2.3.3 – Perda de Estanqueidade.....	15
2.4 – Classes de Pressão.....	16
2.4.1 – Diafragma.....	17

2.4.2 – Conexões.....	18
2.4.3 – Corpo.....	18
2.5 – Instalações Típicas.....	19
3. Características de Desempenho.....	22
4. Válvulas Típicas.....	27
4.1 – VCA Dorot – Tipo “Gal” – Série 200.....	27
4.1.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	27
4.1.2 – Sistema de Controle.....	29
4.2 – VCA Dorot – Série 300.....	31
4.2.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	32
4.2.2 – Sistema de Controle.....	32
4.3 – VCA Valloy – Mod. VA-201.....	33
4.3.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	33
4.3.2 – Sistema de Controle.....	35
4.4 – VCA Bermad – Série 700.....	36
4.4.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	36
4.4.2 – Sistema de Controle.....	38
4.5 – VCA Watts – Mod. ACV-115.....	39
4.5.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	39
4.5.2 – Sistema de Controle.....	41
4.6 – VCA OCV – Mod. 127-3.....	42
4.6.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	42
4.6.2 – Sistema de Controle.....	43
4.7 – VCA Bailey – Mod. 400.....	43
4.7.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	43
4.7.2 – Sistema de Controle.....	46
4.8 – VCA Muesco-Baker – Mod. 115.....	47
4.8.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	47
4.8.2 – Sistema de Controle.....	48
4.9 – VCA Cimed – Mod. GVV.....	48
4.9.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	48
4.9.2 – Sistema de Controle.....	50

4.10 – VCA Golden-Anderson.....	51
4.10.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	51
4.10.2 – Sistema de Controle.....	52
4.11 – VCA Ross – Mod. 40WR.....	53
4.11.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	54
4.11.2 – Sistema de Controle.....	55
4.12 – VCA Cla-Val – Mod. 90-01, 690-01, 100PA e 100P.....	56
4.12.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	56
4.12.2 – Sistema de Controle.....	58
4.13 – VCA Singer – Mod. 106PR.....	59
4.13.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	59
4.13.2 – Sistema de Controle.....	60
4.14 – VCA Danfoss – Mod. C101.....	60
4.14.1 – Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações.....	60
4.14.2 – Sistema de Controle.....	62
4.15 – Comentários Gerais e Avaliações sobre as VCA’s.....	62
5. Materiais e Metodologia.....	70
5.1 – Experimentação.....	70
6. Conclusões e Recomendações.....	90
7. Anexos.....	93
8. Referências Bibliográficas.....	97

**LISTA DE SÍMBOLOS**

- A – Área da Seção Transversal da Tubulação  
C<sub>Q</sub> – Coeficiente de Vazão  
D – Diâmetro Nominal  
 $\Delta H$  – Perda de Carga  
 $\Delta p$  – Diferencial de Pressão  
g – Aceleração da Gravidade  
G – Peso Específico Relativo  
 $\gamma$  – Peso Específico  
 $\gamma_{\text{água}}$  – Peso Específico da Água  
 $\gamma_{\text{fluido}}$  – Peso Específico de um Fluido Qualquer  
K – Coeficiente de Perda de Carga  
K<sub>D</sub> – Coeficiente de Desempenho  
P<sub>M</sub> – Pressão à Montante  
P<sub>J</sub> – Pressão à Jusante  
P<sub>V</sub> – Pressão de Vapor  
p – Pressão  
Q – Vazão  
 $\rho$  – Massa Específica do Líquido

$\sigma$  - Índice de Cavitação

V – Velocidade

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Válvula Principal e Circuito de Controle de uma VCA Bermad – Série 700.....	6
Figura 2 – VCA Bermad – Série 700 – Corpo “Y”.....	7
Figura 3 – VCA Dorot – Série 300 – Corpo “T”.....	7
Figura 4 – VCA Ross – Corpo em Cruz.....	8
Figura 5 – VCA Bermad – Série 400 – Corpo Horizontal.....	8
Figura 6 – VCA Bermad – Série 700 – Corpo Angular.....	9
Figura 7 – Válvula Principal e Circuito de Controle de uma VCA Bermad – Série 700.....	11
Figura 8 – Válvula Piloto da Singer – Mod. 100.....	12
Figura 9 – Vista Lateral de uma Estrutura de Controle.....	20
Figura 10 – Planta de uma Estrutura de Controle.....	20
Figura 11 – Vista Geral de um Estrutura de Controle.....	21
Figura 12 – Interferência da Cavitação na taxa de Vazão.....	26
Figura 13 – VCA Dorot – Tipo “Gal” – Série 200.....	27
Figura 14 – VCA Dorot – Tipo “Gal” – Série 200.....	28
Figura 15 – VCA Dorot – Sistema de Controle (Modo 2 Vias).....	30
Figura 16 – VCA Dorot – Sistema de Controle (Modo 3 Vias).....	30
Figura 17 – Detalhe Interno da Válvula Piloto Dorot – Mod. 31-300.....	31

Figura 18 – VCA Dorot – Série 300.....	32
Figura 19 - VCA Valloy – Mod. VA-201.....	34
Figura 20 – Válvula Piloto Valloy – Mod. VA-201.....	35
Figura 21 – Válvula Piloto (2 Vias) Valloy – Mod. VA-201.....	36
Figura 22 – VCA Bermad – Série 700.....	37
Figura 23 – Detalhe do Disco V-Port.....	38
Figura 24 – Válvula Piloto nº 2 Bermad.....	39
Figura 25 – VCA Watts – Mod. ACV-115.....	40
Figura 26 – Sistema de Controle da VCA Watts – Mod. ACV-115.....	41
Figura 27 – VCA OCV – Mod. 127-3.....	42
Figura 28 – VCA Bailey – Mod. 400.....	44
Figura 29 – Partes Componentes da VCA Bailey – Mod. 400.....	45
Figura 30 – Válvula Piloto da VCA Bailey – Mod. 400.....	46
Figura 31 – VCA Muesco-Baker – Mod. 115.....	47
Figura 32 – VCA Cimed – Mod. GVV.....	48
Figura 33 – Conjunto Pistão da VCA Cimed – Mod. GVV.....	49
Figura 34 – VCA Cimed – Mod. GVV.....	49
Figura 35 – Válvula Piloto da VCA Cimed – Mod. RLP.....	50
Figura 36 – Esquema Operacional da VCA Cimed – Mod. GVV.....	51
Figura 37 – Detalhe Interno da VCA Golden-Anderson.....	52
Figura 38 – Válvula Piloto da VCA Golden-Anderson.....	53
Figura 39 – VCA Ross – Mod. 40WR.....	54
Figura 40 – Válvula Piloto da VCA Ross – Mod. 40-WR.....	55
Figura 41 – VCA Cla-Val – Mod. 100.....	57
Figura 42 – VCA Cla-Val – Mod. 100-PA e 100-P.....	57
Figura 43 – VCA Singer – Mod. 106PR.....	59
Figura 44 – Válvula Piloto da VCA Singer – Mod. 100.....	60
Figura 45 – VCA Danfoss – Mod. C101.....	61
Figura 46 – Esquema Operacional da VCA Danfoss – Mod. C101.....	62
Figura 47 – Planta Geral das Instalações de Modelação da Cia. Metalúrgica Barbará.....	71
Figura 48 – Transdutores posicionados à 2,60 m e 202,60 m da VCA durante ensaio na Barbará.....	72

Figura 49 – Vista dos 200,00 m de Tubo PEAD com os Transdutores posicionados à 2,60 m e 202,60 m da saída da VCA.....	73
---	----

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Celeridade do Tubo PEAD.....	76
Gráfico 2 – Abertura de $V_1$ via computador com $V_3$ aberta.....	77
Gráfico 3 – Start de $V_1$ via computador e Agulha com 2 voltas.....	78
Gráfico 4 – Start de $V_1$ e Agulha com 2 voltas.....	79
Gráfico 5 – Start de $V_1$ e Agulha com 2 voltas.....	80
Gráfico 6 – Start de $V_1$ e Agulha com 7 voltas.....	81
Gráfico 7 – Start de $V_1$ e Agulha Totalmente Fechada.....	82
Gráfico 8 – Start de $V_1$ e Agulha Totalmente Aberta.....	83
Gráfico 9 – Fechamento Rápido de $V_3$ .....	84
Gráfico 10 – Fechamento Rápido de $V_3$ .....	85
Gráfico 11 – Fechamento Rápido de $V_3$ .....	86
Gráfico 12 – Oscilação devido a sujeira no circuito de controle da VCA.....	87
Gráfico 13 – Abertura Rápida de $V_3$ .....	88
Gráfico 14 – Fechamento, Abertura e Fechamento de $V_3$ .....	89
Gráfico 15 – Curva de Calibração do Transdutor ( $T_1$ ).....	95
Gráfico 16 – Curva de Calibração do Transdutor ( $T_2$ ).....	96

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Comparativo entre Válvulas Típicas.....	66
--	----

## 1. APRESENTAÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água nos centros urbanos são constituídos de redes hidráulicas que, através de condutos forçados, têm o objetivo de transportar água potável até os pontos de consumo. Estes sistemas são constituídos de tubos, singularidades (tees, curvas, reduções,...) e elementos especiais de controle, especificados em função da sua finalidade para se obter a operação eficaz do sistema.

Com o crescimento desses centros urbanos e a escassez de mananciais próximos com quantidade e qualidade de água adequadas para o atendimento das demandas, os sistemas de abastecimento estão se tornando cada vez mais extensos e complexos, dificultando a operação, a manutenção e a otimização do controle.

As dificuldades mencionadas estão correlacionadas ao desconhecimento do cadastro fiel e do comportamento dinâmico dos sistemas de abastecimento. Ações de interferência no processo de transporte e distribuição do líquido podem resultar em rupturas nas tubulações no regime transitório, provocando a falta de água em regiões localizadas, perda de qualidade da água distribuída em zonas de baixa pressão,

adicionadas ainda ao aumento da perda física de água devido a ocorrência de altas pressões em outras regiões.

A solução do problema de controle operacional não é simples e especialistas de todo o mundo têm se dedicado ao desenvolvimento de modelos matemático-computacionais confiáveis para permitir simulações do comportamento dinâmico desses sistemas na fase de projeto e, principalmente, na fase de operação para o monitoramento em tempo real. Esses modelos permitem simular a operação em tempo extensivo, possibilitando verificar e definir regras operacionais adequadas para se otimizar a adução e a distribuição de água.

Os avanços tecnológicos em eletrônica possibilitam transmitir as operações de uma central de comando para os elementos de controle inteligentes (válvulas de controle, bombas de rotação variável,...) através de redes telemétricas, substituindo a operação manual e, em alguns casos, a comunicação via rádio. Da mesma forma que se comanda a operação, os dados reais da resposta do sistema são recebidos na central de comando para a análise e definição da próxima operação a ser efetuada. E assim, se estabelece o controle operacional em tempo real.

Além da redução de custos operacionais, aumenta-se a confiabilidade do sistema de abastecimento, pois, com o acompanhamento em tempo real, qualquer anormalidade pode ser detectada quase que imediatamente, e a definição de medidas corretivas é prontamente estabelecida.

Para concretizar a “operação ótima”, previamente simulada, devemos conhecer perfeitamente os limites físicos dos elementos de controle e se as conseqüências de suas interferências no sistema são adequadas para as especificações dos componentes desse mesmo sistema (por exemplo classe de pressão dos tubos).

Neste trabalho, apresentamos e analisamos as ações das Válvulas de Controle Automáticas (VCA) em redes hidráulicas. Inicialmente apresentamos a discussão detalhada da VCA quanto aos seus componentes (corpo, sistema atuador e de controle); em seguida, analisamos os problemas operacionais, as aplicações e, finalmente, os custos

envolvidos. Focalizamos de maneira crítica as VCA's típicas para redução de pressão de 13 fabricantes diferentes, principalmente quanto à geometria do corpo, sistema atuador, tipos de materiais, revestimentos e características do "sistema piloto", comparando-as entre si e, finalmente, verificamos o desempenho numa instalação experimental operando em regime transitório, obtendo empiricamente os limites de atuação de uma VCA utilizada nos ensaios para ilustrar, através da resposta dinâmica às manobras efetuadas no sistema, a sua eficácia operacional.

## 2. A VÁLVULA DE CONTROLE AUTOMÁTICA (VCA)

### 2.1 – Descrição Básica

As Válvulas de Controle Automáticas (VCA) são equipamentos de múltiplas funções, desenvolvidos a partir da necessidade de operação e controle dos sistemas hidráulicos, que ao longo do tempo foram se tornando cada vez mais complexos.

São consideradas “automáticas”, pois operam em consequência da ação do líquido escoando no sistema a ser controlado, para produzir efeitos desejáveis, previamente estabelecidos para controlar pressões e vazões.

São designadas pelas funções de controle que executam distinguindo-se entre elas as seguintes:

#### a) Controle de Pressão

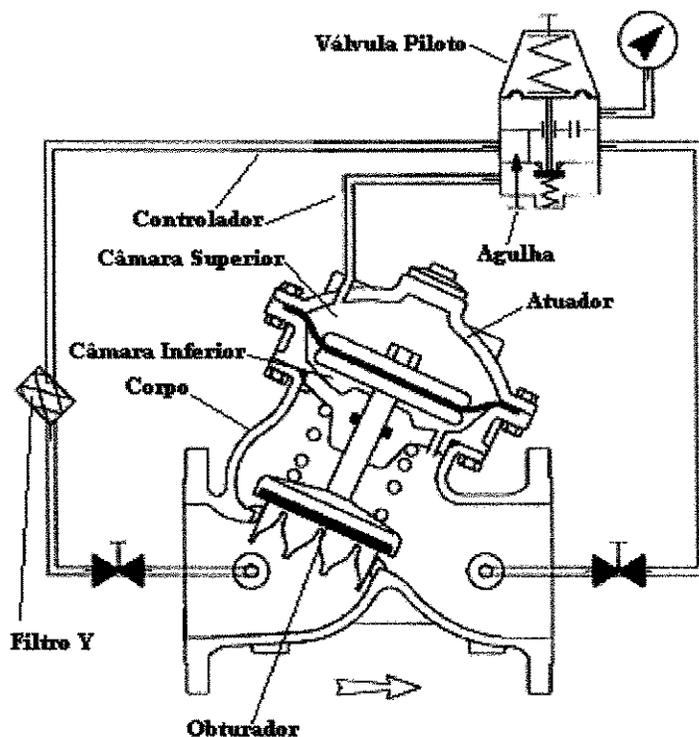


Figura 1 – Válvula Principal e Circuito de Controle de uma Válvula Redutora de Pressão Bermad – Série 700

## 2.2 – Descrição dos Componentes

### 2.2.1 – Corpo

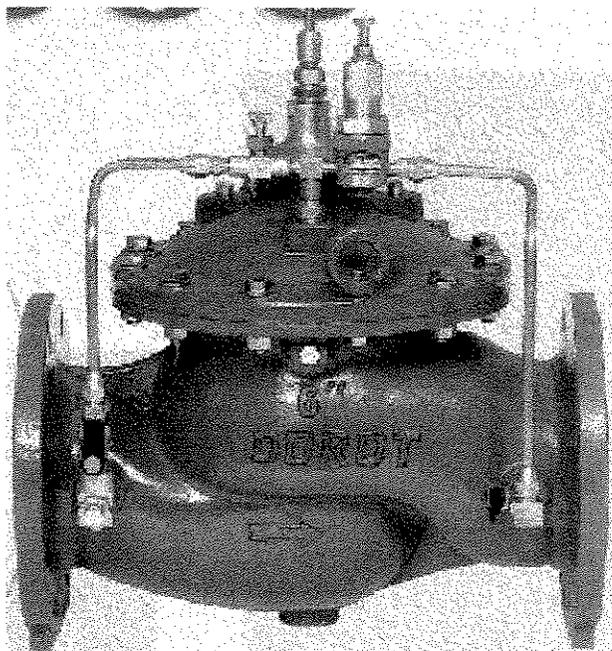
É constituído de uma peça de Ferro Fundido Dúctil para baixas pressões e de Aço para pressões elevadas, podendo ser confeccionada com materiais mais nobres, tais como: Plástico, Bronze, Aço Inoxidável; com ou sem revestimentos (epóxi, poliéster,...) e pinturas especiais (pintura eletrostática), com objetivos específicos de se obterem custos adequados, facilidades executivas, maior durabilidade e adequação às condições de pressões extremas ocorrentes nas redes hidráulicas.

A concepção do corpo para atender características específicas e, também, proporcionar perdas de carga reduzidas quando abertas além de uma ação de controle eficaz é variada e estabelece o “padrão do fabricante” e a distinção entre as VCA’s (figuras 2 à 6), tais como:

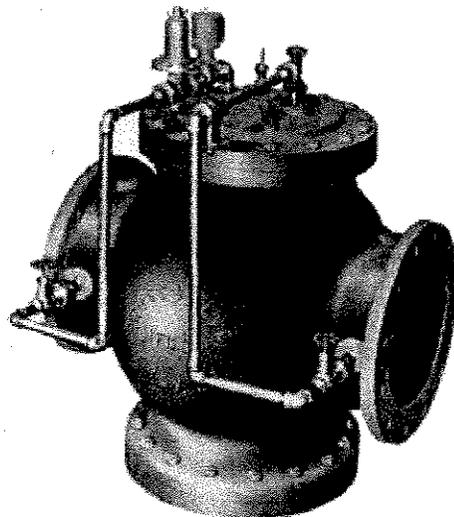
- Corpo “Y”
- Corpo “T” (Válvulas Globo)
- Corpo em Cruz
- Corpo Horizontal
- Corpo Angular (Cotovelos)



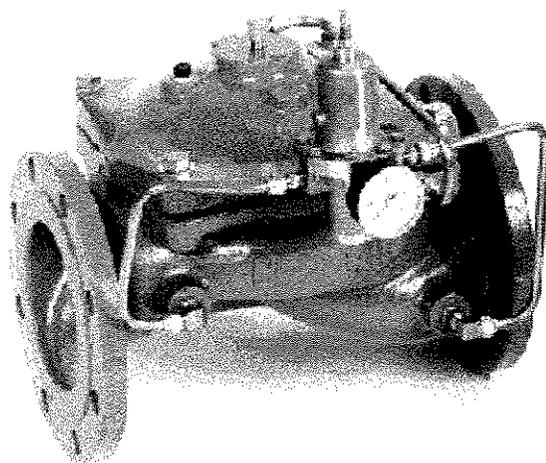
**Figura 2** – Válvula de Controle Automática Bermaid – Série 700 – Corpo em “Y”



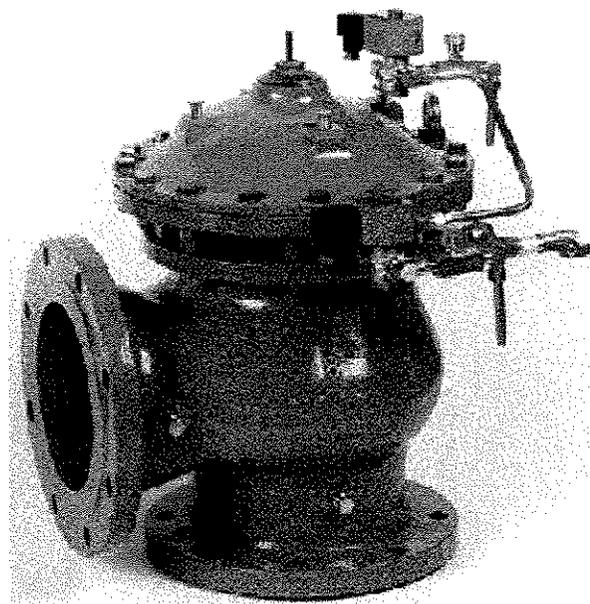
**Figura 3** – Válvula de Controle Automática Dorot – Série 300 – Corpo em “T”



**Figura 4** – Válvula de Controle Automática Ross – Corpo em Cruz



**Figura 5** – Válvula de Controle Automática Bernad - Série 400 - Corpo Horizontal



**Figura 6** – Válvula de Controle Automática Bermad - Série 700 - Corpo Angular

O corpo da válvula é conectado ao sistema através de roscas (diâmetros até 3”) ou flanges (a partir de diâmetros de 2”), sendo estes últimos com padrões de furação variados de acordo com as classes de pressão (125, 250, PN10, PN16, PN25...).

### 2.2.2 – Atuador

Agregado ao corpo da válvula instala-se o atuador, geralmente localizado na parte superior do seu corpo com a função de fechar ou abrir a passagem para o líquido através do obturador.

O obturador é movimentado por diferença de pressão atuando sobre um diafragma (ou pistão) que se desloca em uma câmara (ou cilindro) fechada, possuindo uma parte superior em contato com o fluido que circula pelo sistema de controle e uma parte inferior em contato direto com o fluxo do sistema hidráulico (câmara simples).

Há atuadores de câmara dupla, nas quais, tanto a parte superior como a parte inferior estão em contato com o fluido que circula pelo sistema de controle, não tendo nenhum contato direto com o escoamento no sistema. As válvulas com câmara atuadora

dupla, podem ser facilmente adaptadas para câmara simples apenas permitindo que a câmara inferior fique em contato com o fluxo do sistema hidráulico a ser controlado.

As tomadas de pressão de montante e jusante, dreno e as conexões para câmara atuadora são elementos complementares associados ao corpo da válvula.

### 2.2.3 - Controlador

É o “cérebro” da VCA. Através dele, comanda-se o atuador para proporcionar as funções de controle preestabelecidas com as ações de abertura ou fechamento do obturador.

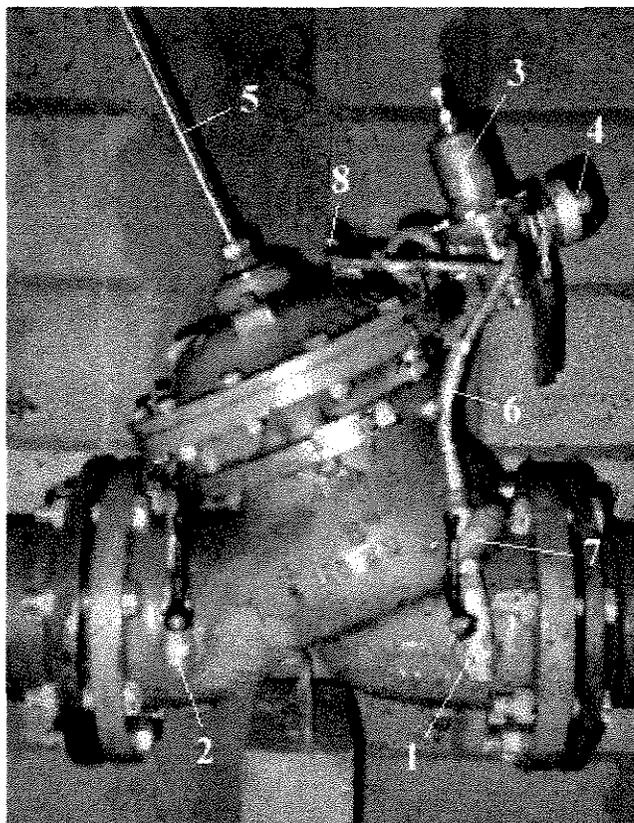
É constituído de um conjunto de tubulações e acessórios de pequenos diâmetros, que conecta o sistema hidráulico ao atuador e contém o elemento de controle constituído de “válvula(s) piloto”. Essas válvulas possuem características específicas adequadas às funções que exercem e, basicamente, possuem um diafragma sensível e um sistema de ajuste constituído por uma mola, cujas características devem ser adequadas às condições de pressão a controlar.

O diafragma sensível e a mola atuam conjuntamente para regular o fluxo de líquido à(s) câmara(s) do atuador. O controle desse fluxo é efetuado através de um elemento de amortecimento (agulha), cuja função é garantir a estabilidade do controlador e a velocidade do obturador.

As válvulas piloto são classificadas quanto ao número de vias (2, 3 ou 4 vias), que permitem direcionar o fluxo de controle para as câmaras atuadoras ou para atmosfera.

Os elementos complementares do circuito de controle, tais como o filtro “Y”, com a função de impedir a entrada de impurezas que possam, de alguma forma, obstruir as tubulações do circuito de controle ou seus componentes, manômetros, e outros são necessários para garantir e monitorar o bom funcionamento da VCA.

Como elucidação, na figura 7, visualizam-se os componentes de uma válvula redutora de pressão. As conexões do circuito de controle são efetuadas com a tomada de pressão à montante do corpo da válvula principal e à câmara atuadora. Entre a tomada de pressão à montante e o piloto estão inseridos o filtro “Y” e a válvula agulha que, neste caso, está incluída na válvula piloto.



- |                       |                                     |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 Conexão de Montante | 5 Haste Indicadora de Posição       |
| 2 Conexão de Jusante  | 6 Tubulação do Circuito de Controle |
| 3 Válvula Piloto      | 7 Filtro “Y”                        |
| 4 Manômetro           | 8 Conexão da Câmara Atuadora        |

**Figura 7** – Válvula Principal e Circuito de Controle de uma Válvula Redutora de Pressão Bermad – Série 700

Na válvula piloto, o ajuste da pressão a ser controlada (set point ou variável de controle), é efetuado através do posicionamento do parafuso de regulagem que atua sobre a mola e posiciona o diafragma flexível.

Quando a pressão de jusante tende a valores superiores ao valor regulado na válvula piloto, o seu diafragma, que recebe referência de jusante, é impellido para cima

fechando a conexão de entrada da tomada de pressão de montante. Assim todo fluxo é conduzido exclusivamente à câmara atuadora provocando o fechamento da válvula principal .

Da mesma forma, quando a pressão à jusante diminui para valores inferiores ao preestabelecido na regulagem, a força exercida pela mola sobre o diafragma provoca a abertura da conexão da entrada de montante liberando o fluxo para jusante. Sem esforço na parte superior da câmara atuadora, a pressão de montante do próprio escoamento provoca o deslocamento do conjunto atuador/obturador para cima, descarregando o volume da câmara no circuito de controle e, posteriormente, a jusante (figura 8).

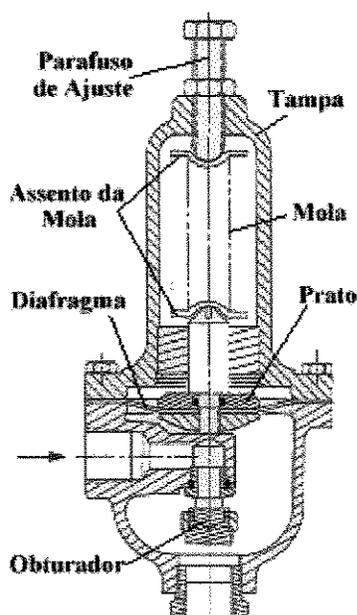


Figura 8 – Válvula Piloto da Singer – Mod. 100

### 2.3 – Problemas Operacionais

As VCA's são elementos que possibilitam controlar ou regular as variáveis do escoamento; porém, como qualquer equipamento hidro-mecânico, estão sujeitas a falhas e, por esse motivo, devem ser constantemente monitoradas.

Entre os diversos problemas a que esse tipo de equipamento pode estar sujeito, podem-se listar:

- Perda de Referência (Desajuste do Set-Point)
- Instabilidade Operacional
- Perda de Estanqueidade
- Desgaste de Componentes

### 2.3.1 – Perda de Referência

A perda de referência do Set-Point ou perda do ponto de operação desejado do equipamento, proporciona total descontrole da válvula comprometendo sua função dentro do sistema.

Várias são as possibilidades que podem originar este problema, entre elas podem-se citar:

- Afrouxamento da porca trava do parafuso de ajuste do piloto, consequência das sucessivas operações de abertura e fechamento provocando o desajuste na tensão da mola.
- Ruptura ou dano no diafragma sensível da válvula piloto, fazendo com que a mesma não mais opere e, conseqüentemente, deixando a válvula principal inoperante e totalmente aberta.
- Ruptura ou dano no diafragma da válvula principal (para válvulas com atuadores do tipo diafragma) também causando inoperância do equipamento, mesmo com o piloto operando normalmente.
- Desgaste do anel de vedação da cabeça do pistão (para válvulas com atuadores do tipo pistão), proporcionando a transmissão da pressão de montante para jusante quando a válvula se fecha ou também no período noturno, quando o sistema tende ao regime “quasi-estático”.

Os danos que esse tipo de problema pode trazer vão, no caso específico de uma válvula redutora de pressão, desde a transmissão da pressão de montante para jusante provocando rompimento de redes pelo excesso de pressão, perda física do fluido, até dependendo do local, da pressão e do volume, a ruptura de redes e adutoras com ocorrência de danos de grande monta em construções e pavimentos.

### 2.3.2 – Instabilidade Operacional

O comportamento de uma VCA dentro de um sistema hidráulico, depende de diversos fatores que vão desde o seu perfeito dimensionamento, a partir de todos os parâmetros (perfil topográfico das linhas, localização da VCA no sistema, pressões estática e dinâmica, vazão, existência e localização de Boosters, reservatórios, pontos críticos...) até as condições extremas de trabalho a que a mesma estará sujeita.

Tais cuidados visam a fazer com que a VCA, após inserida no sistema, se torne um elemento solidário. É muito importante ter em mente que a válvula é que deve se adaptar ao sistema e não o oposto.

É óbvio que resultados mais favoráveis de desempenho estão intimamente ligados à perfeição dos dados do sistema e do correto dimensionamento da válvula a partir deles.

A estabilidade de uma válvula redutora de pressão é obtida com o perfeito ajuste de sua válvula piloto para as condições já pré-estudadas e predeterminadas em projetos. Esse ajuste do piloto inclui a regulação da válvula agulha que determinará o tempo de resposta da válvula, fator preponderante para sua estabilidade.

Quanto mais lenta sua resposta, maior será o tempo para que a mesma assimile ondas de perturbação (transitórios) geradas por manobras das redes (abertura, fechamento de válvulas, parada e partida de bombas), e assim poderão ocorrer picos máximos de pressão acima dos valores de saída desejados, submetendo as redes de jusante a sobrepressões, ou picos mínimos de pressão gerando subpressão, podendo até mesmo provocar colapso das redes nesse último caso.

Uma válvula estável é aquela que em sua operação apresente movimentos suaves e constantes, compensando alterações de pressão para os níveis preestabelecidos sem que isso venha a provocar algum tipo de instabilidade no sistema (pulsações).

As condições de seus componentes (diafragma, mola, parafuso de ajuste, agulha, anéis de vedação...) bem como a limpeza do circuito de controle, incluindo filtros, são elementos determinantes da sua estabilidade.

### 2.3.3 – Perda da Estanqueidade

Para o perfeito funcionamento da VCA, é necessário que seja garantida a estanqueidade, ou seja, que não haja transmissão da pressão de montante para jusante, mesmo porque neste caso o equipamento irá perder por completo sua função.

São vários os motivos que podem comprometer a estanqueidade de uma VCA, entre eles:

- falha de vedação do anel do disco obturador na sede da válvula
- imperfeição no assento do disco obturador
- perfuração do diafragma da válvula principal ou da válvula piloto
- vazamento na tubulação do circuito de controle

As causas mais comuns são os desgastes dos componentes da válvula (anéis de vedação e diafragmas) e as impurezas (pedras) que podem entrar no interior das redes após rompimentos ou interligações, sendo carregadas posteriormente até as válvulas, depositando-se geralmente na sede e, assim, impedindo o perfeito assentamento do disco obturador.

Nesse caso específico, nota-se a importância de filtros nas estruturas de controle, a montante das VCA's.

Vazamentos que por ventura possam surgir no circuito de controle afetarão diretamente no tempo de resposta da válvula, pois uma quantidade maior de fluido será

necessária para as operações de fechamento e abertura em virtude da perda, podendo, dependendo do caso, provocar até mesmo a sua inoperância.

#### 2.3.4 – Desgaste dos Componentes

O desgaste dos componentes é um fator natural de todo equipamento mecânico. Assim, tornam-se imprescindíveis manutenções periódicas, preventivas e corretivas, conforme o caso.

O anel de vedação é um dos elementos da válvula mais solicitado. Sua função de vedação, essencial ao perfeito funcionamento da VCA, vai sendo afetada pelo desgaste ao longo das sucessivas etapas de trabalho, devido ao atrito ininterrupto com as hastes e a sede, além do desgaste proveniente das altas velocidades para baixos fluxos.

Isso faz com que venham a ocorrer vazamentos, comprometendo a vedação, item tão importante para o perfeito funcionamento de uma VCA.

#### 2.4 – Classes de Pressão

Dentre todos os fatores que determinam a escolha e o dimensionamento de uma VCA, a pressão é um dos itens mais importantes, principalmente num modelo de redução de pressão, onde todo equipamento está exposto a elevados níveis à montante e altas velocidades em fluxos baixos onde pode vir a ocorrer cavitação, assim como o tipo de fluido (corrosivo, abrasivo, etc.).

A importância dos níveis de pressão também está presente na confecção da própria válvula, afinal todo equipamento (corpo, acessórios, peças e conexões) também estará submetido a esse fator.

Desta forma, foram estabelecidas classes de pressão que variam em função das diversos padrões que especificam as VCA's ao redor do mundo (ANSI, ISO, BS, JIS). A tabela abaixo, extraída do catálogo da Dorot, ilustra melhor esses padrões:

Padrão	Material do Corpo	Faixa de Pressão (MPa)
ISO - PN 10	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> , F <sup>o</sup> Ductil, Bronze F <sup>o</sup>	1,00
ISO - PN 16	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> , F <sup>o</sup> Ductil, Bronze F <sup>o</sup>	1,60
ISO - PN 25	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> , F <sup>o</sup> Ductil, Bronze F <sup>o</sup>	2,50
ANSI - 125	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	1,40
ANSI - 150	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> , F <sup>o</sup> Ductil, Bronze F <sup>o</sup>	1,70
ANSI - 250	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	1,60
ANSI - 300	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> , F <sup>o</sup> Ductil, Bronze F <sup>o</sup>	2,50
BS - 10/D	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e Bronze F <sup>o</sup>	1,00
BS - 10/E	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e Bronze F <sup>o</sup>	1,60
BS - 10/F	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e Bronze F <sup>o</sup>	2,10
BS - 10/H	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e Bronze F <sup>o</sup>	2,50
JIS - 5K	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e F <sup>o</sup> Ductil	0,50
JIS - 10K	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e F <sup>o</sup> Ductil	1,00
JIS - 16K	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e F <sup>o</sup> Ductil	1,60
JIS - 20K	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> e F <sup>o</sup> Ductil	2,00

#### 2.4.1 – Diafragma

Para modelos de válvula onde o próprio diafragma faz a função de obturador além de atuador, abrindo e o fechando (Dorot - tipo “Gal”), este item segue rigorosos critérios de seleção e escolha. Através de dados de vazão e pressão (altas e baixas), é possível se fazer a correta seleção do diafragma, conforme catálogo do fabricante Dorot.

Note que há uma diferenciação inclusive na faixa de pressão, existindo um tipo de diafragma para altas e outro para baixas pressões (diafragmas especiais).

Nos casos de diafragma especial para baixas pressões, deve-se ter muito cuidado com a pressão máxima de trabalho da válvula, pois sendo o mesmo parâmetro de seleção, também corresponde à pressão máxima a que o diafragma pode ser submetido sem danos.

Devido à complexidade e ao elevado número de variáveis (pressão, tipo de fluido, vazão...) que fazem parte da seleção, também os materiais dos diafragmas podem ser diferentes atendendo a diversas situações de operação.

Quanto ao tipo de material, os diafragmas podem ser:

- Nitrila
- EPDM (Etileno – Propileno – Dieno – Monômero)
- Neoprene

Nota-se, neste caso também, a existência de diafragmas de materiais compostos (borracha natural reforçada com nylon, EPDM,...).

#### 2.4.2 – Conexões

O tipo de conexão da válvula ao sistema também é um item diretamente ligado à classe de pressão.

A escolha da conexão é feita em função do diâmetro e da classe de pressão a que a VCA estará submetida.

Quanto aos tipos de conexões, estas podem ser:

- Rosqueada  $\Rightarrow$  onde a válvula é conectada à rede através de rosca.
- Flangeada  $\Rightarrow$  onde a válvula é conectada à rede por intermédio de parafusos, variando o tipo de furação em função da pressão de trabalho.

Em ambos os casos deverá haver uma perfeita vedação, quer com auxílio de fita teflon (rosca) ou guarnições de borracha natural (flange).

#### 2.4.3 – Corpo

Assim como os demais componentes, também o material do corpo da válvula está diretamente ligado à classe de pressão.

Entre os diversos materiais disponíveis, podem-se citar: Ferro Fundido, Ferro Dúctil, Bronze, Plástico, Alumínio, Aço Inoxidável, entre outros. Este item incide diretamente no custo final do produto.

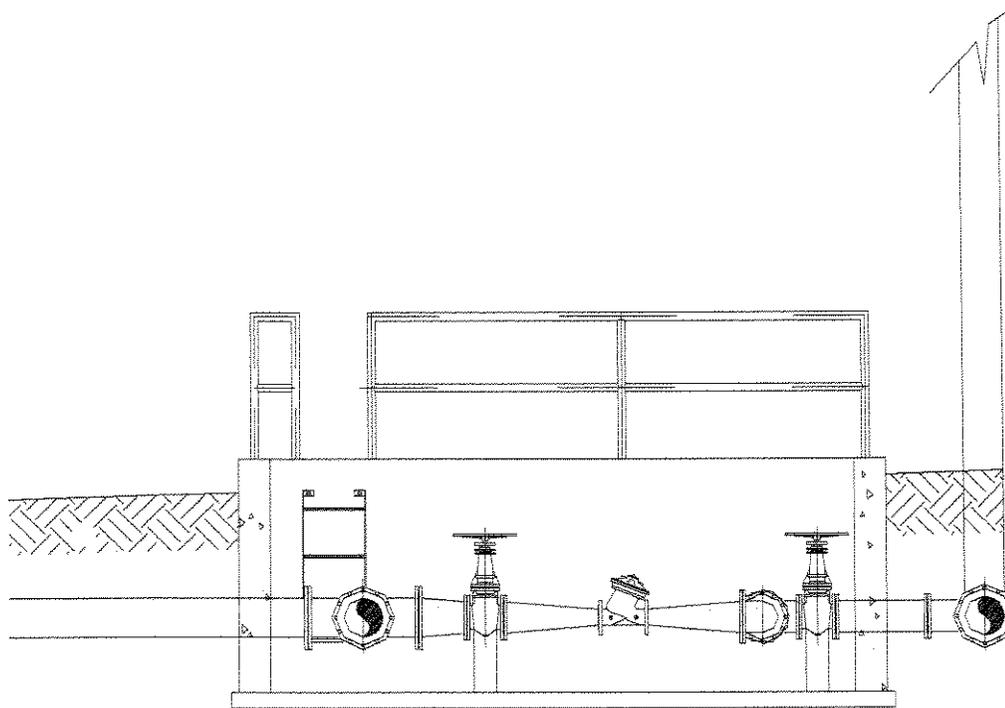
### 2.5 – Instalações Típicas

A colocação de uma VCA num sistema hidráulico, requer o preparo de toda uma instalação em determinado ponto da rede usualmente chamada de “Estrutura de Controle”, que inclui confecção de blocos de apoio (tubulações aéreas) e de caixas de alvenaria ou de concreto armado com ou sem tampas (tubulações enterradas), além dos barriletes para esta instalação.

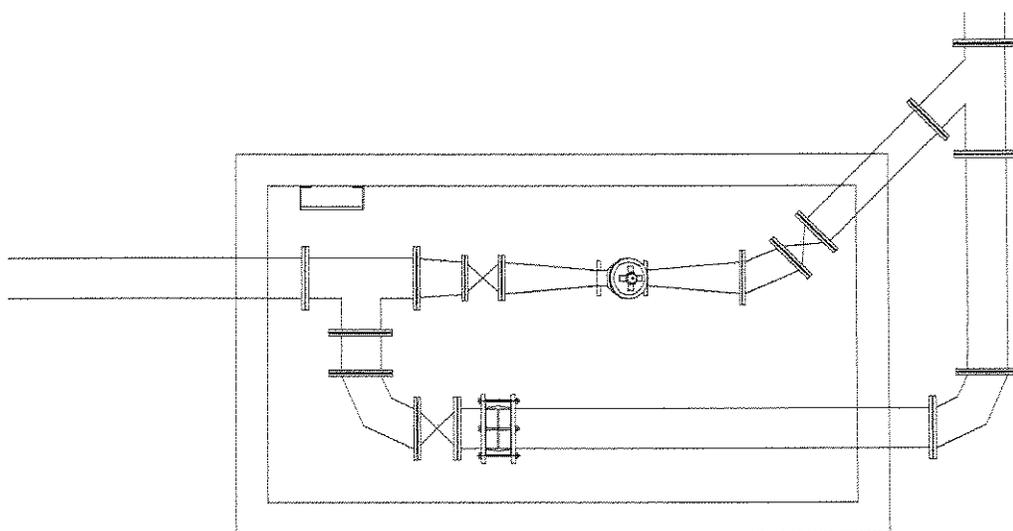
Basicamente, as “Estruturas de Controle” são compostas em geral por dois barriletes, onde no caminhamento da linha principal é instalada a VCA. Paralelamente a este barrilete principal existe um secundário, com diâmetro igual ou diferente do principal, fazendo a função de “By Pass”. Pode ainda existir mais barriletes em paralelo fazendo um papel auxiliar (vazão mínima noturna), conforme a função para que a VCA foi concebida.

Nesta estrutura ainda são previstos, no caso de um barrilete principal e um secundário, três válvulas (gaveta, borboleta,...) sendo, duas na linha principal (uma à montante e outra à jusante da VCA), uma válvula na linha secundária, além de válvulas de admissão e expulsão de ar (ventosas) e juntas flexíveis para montagem e desmontagem.

Como elucidação, nas figuras 9, 10 e 11 visualiza-se uma “Estrutura de Controle”.



**Figura 9** – Vista Lateral de uma “Estrutura de Controle”



**Figura 10** – Planta de uma “Estrutura de Controle”

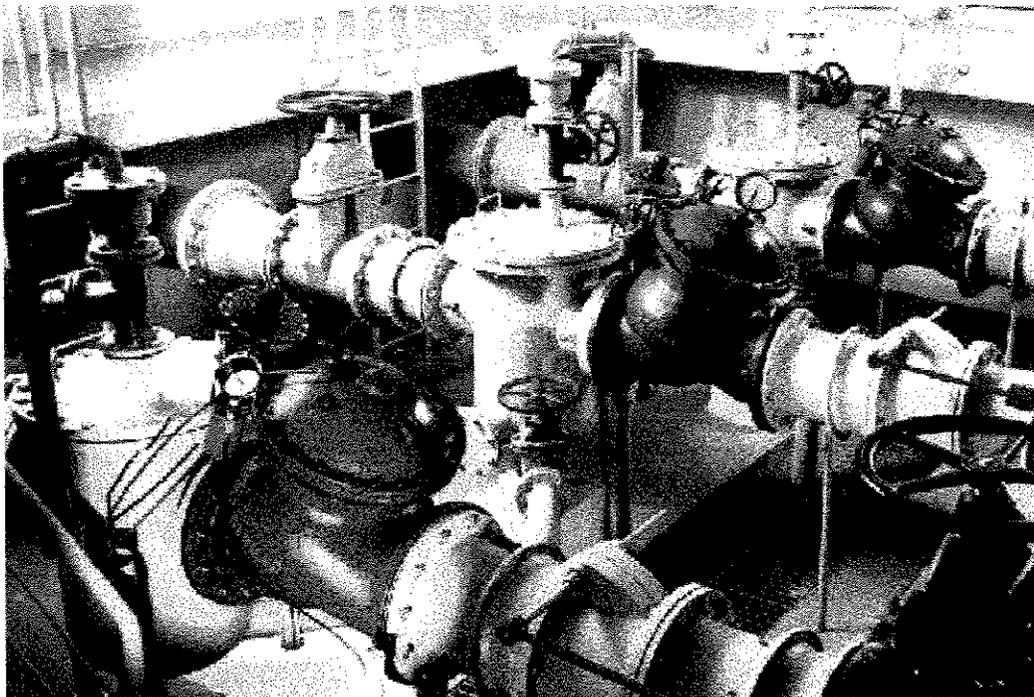


Figura 11 – Vista Geral de uma “Estrutura de Controle” (Cortesia Catálogo Interativo Bermad)

Estas instalações típicas aqui apresentadas pouco ou quase nada diferenciam entre tubulações que transportam diferentes fluidos (água, óleo,...), seus custos são variados em função dos diâmetros das linhas principais, como também das funções que cada estrutura terá dentro do sistema.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

Conforme Koelle em suas anotações sobre válvulas, para se caracterizar o desempenho de uma válvula numa instalação, são utilizados coeficientes de vazão em que se procura mostrar para cada abertura qual a perda de pressão ( $\Delta p$ ) que a mesma induzirá a um líquido dentro desse sistema. O peso específico relativo deste líquido é  $G$  ( $\gamma_{\text{Fluido}}/\gamma_{\text{água}}$ ), na vazão ( $Q$ ) que corresponde, na válvula de diâmetro nominal ( $D$ ), a uma velocidade média ( $V$ ).

Usualmente, são utilizados os seguintes coeficientes:

- Coeficiente de Vazão ( $C_Q$ )

$$C_Q = \frac{V}{\sqrt{2g\Delta H}} \quad (1)$$

Sendo,

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\gamma} \quad \text{e} \quad \gamma = \rho g \quad , \quad \text{temos:}$$

$$C_Q = \frac{V}{\sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}} \quad (2)$$

Onde:

$\rho$  = massa específica do líquido

$V$  = velocidade

$C_Q$  = coeficiente de vazão

$\Delta p$  = diferencial de pressão

$g$  = aceleração gravitacional

$\gamma$  = peso específico do líquido

$\Delta H$  = perda de carga

- Coeficiente de Perda de Carga ( $K$ )

$$K = \frac{2g\Delta H}{V^2} \quad (3)$$

Ambos os coeficientes são de difícil determinação em condições extremas de abertura de uma válvula.

Pode-se bem verificar isso, pois, com a válvula fechada ( $V=0$ ),  $C_1 = 0$  e  $K$  tende a infinito. Em oposição quando a válvula se encontra totalmente aberta ( $\Delta H=0$  na válvula ideal),  $C_1$  tende a infinito e  $K = 0$ .

Desta forma, o Prof. J. P. Tullis, propôs a definição de um coeficiente de desempenho ( $K_D$ ) finito para qualquer abertura da válvula, como segue:

$$K_D = \frac{V}{\sqrt{2g\Delta H + V^2}} \quad (4)$$

Onde, (válvula fechada)  $0 \leq K_D \leq 1$  (válvula ideal 100% aberta)

Assim, após manipulações algébricas, temos:

$$K_D = \frac{1}{\sqrt{K+1}} = \frac{C_Q}{\sqrt{1+C_Q^2}} \quad (5)$$

Por se tratar de coeficientes adimensionais, sua utilização exige coerência nas unidades de medida das grandezas envolvidas (no sistema métrico:  $Q$  ( $m^3/s$ ),  $g$  ( $m/s^2$ ),  $V$  ( $m/s$ ),  $\Delta H$  ( $m$ ),  $\rho$  ( $kg/m^3$ ),...).

Sendo o coeficiente de desempenho ( $K_D$ ) um número adimensional, é possível facilmente fazer uma avaliação física (numérica) dos seus valores com relação ao seu desempenho, porém não se podem avaliar as suas limitações quanto à ocorrência de cavitação. Para tanto torna-se necessário um indicador adicional de desempenho que é o índice de cavitação ( $\sigma$ ), definido como:

$$\sigma = \frac{P_J - P_V}{\Delta p} \quad (6)$$

Onde:

$\sigma$  = índice de cavitação

$P_J$  = pressão à jusante

$P_V$  = pressão de vapor

$\Delta p$  = perda de pressão (diferencial de pressão)

Na operação em si, uma válvula é um elemento que provoca restrição do escoamento e sua menor seção de escoamento é a “vena contracta”, onde se tem velocidade máxima e pressão reduzida resultante das leis básicas de conservação:

- Equação da Continuidade

$$Q = V.A = \text{constante}$$

- Equação da Energia (desprezando o atrito numa linha de corrente)

$$p + \rho \frac{V^2}{2} = \text{constante}$$

O que ocorre é que, à jusante do obturador da válvula (vena contracta), aparecem atritos e turbulências geradas pelo mesmo resultando em um diferencial de pressão ( $\Delta p$ ) que, com certa aproximação, é proporcional ao quadrado da velocidade, até certo limite. Este limite é alcançado quando, na vena contracta, a pressão atinge um valor mínimo igual à pressão de vapor do líquido na temperatura de escoamento.

Nesse instante, começam a surgir bolhas de vapor do líquido; é o fenômeno de início da cavitação (incipiente).

Com o aumento da pressão à montante a formação de bolhas é intensificada diminuindo a taxa de acréscimo de vazão, até o limite de bloqueio. A partir deste ponto a vazão não se altera (figura 12).

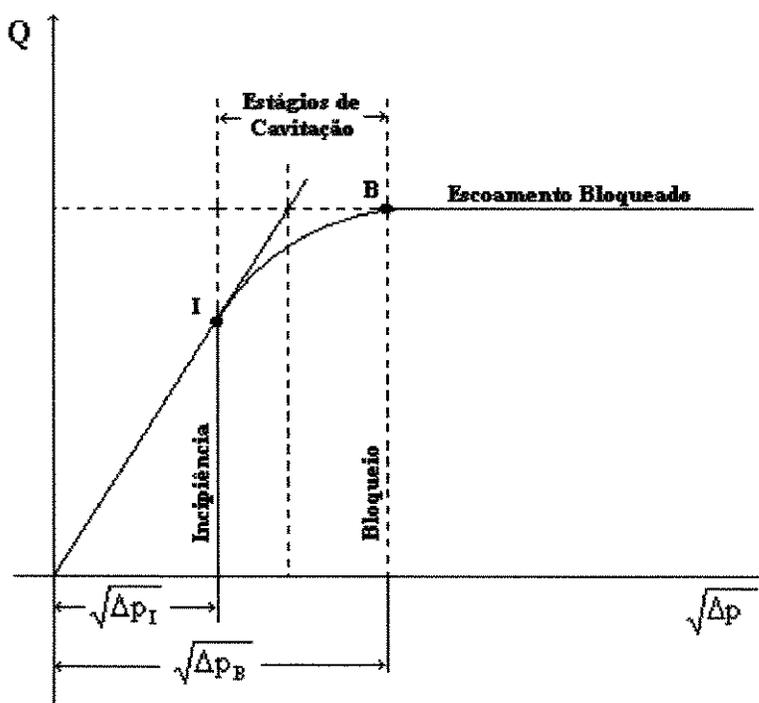


Figura 12 – Interferência da Cavitação na taxa de Vazão

Portanto, os coeficientes de vazão são aplicáveis até valores de diferenciais de pressão ( $\sqrt{\Delta p_I}$ ) correspondentes à cavitação incipiente; além deste valor, o fenômeno se intensifica e os coeficientes não são válidos para o cálculo da vazão.

O Prof. J. P. Tullis, define a cavitação considerando quatro limites distintos; são eles:

- a) Incipiente  $\Rightarrow$  é o início do fenômeno com pequenos ruídos, sem vibração mensurável e certamente sem danos significativos.
- b) Crítica  $\Rightarrow$  também considerado estágio inicial; apresenta intensidade baixa, porém o ruído é contínuo.
- c) Danos Incipientes  $\Rightarrow$  a partir deste estágio, há o aparecimento de vibrações e a formação de bolhas aumenta; com o colapso delas próximo às paredes, inicia-se a erosão (pittings).
- d) Com Bloqueio  $\Rightarrow$  com um aumento da pressão à montante, há a intensificação na formação das bolhas o que diminui a taxa de acréscimo de vazão bloqueando o escoamento.

O processo de cavitação se inicia com ruídos, depois com vibrações e, finalmente, com a erosão e o bloqueio do escoamento.

A erosão se procede a partir do aumento de pressão após a “vena contracta” que ocasiona a implosão ou colapso das bolhas de vapor do líquido, gerando micro jatos que, próximos às paredes, provocam “pittings”.

Com o bloqueio do escoamento, há a generalização na formação das bolhas de vapor e um bolsão de vapor se forma à jusante do obturador ocorrendo a condição de “supercavitação”.

## 4. VÁLVULAS TÍPICAS

### 4.1 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Dorot - Tipo "Gal" - Série 200

#### 4.1.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

São válvulas de eixo horizontal, com o diafragma atuando diretamente sobre o escoamento possibilitando o fechamento e abertura da mesma. Seu acionamento se dá por pressão na câmara superior. A mola auxiliar na câmara única, superior, produz uma força distribuída sobre o diafragma (figuras 13 e 14).

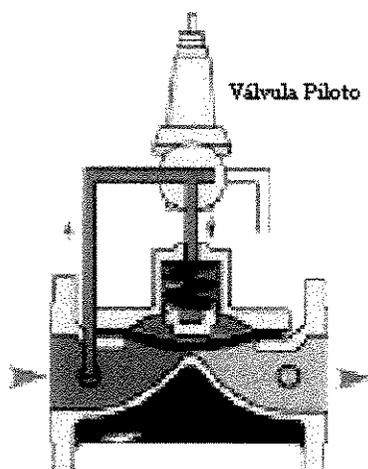


Figura 13 - Válvula Dorot - Tipo Gal - Série 200

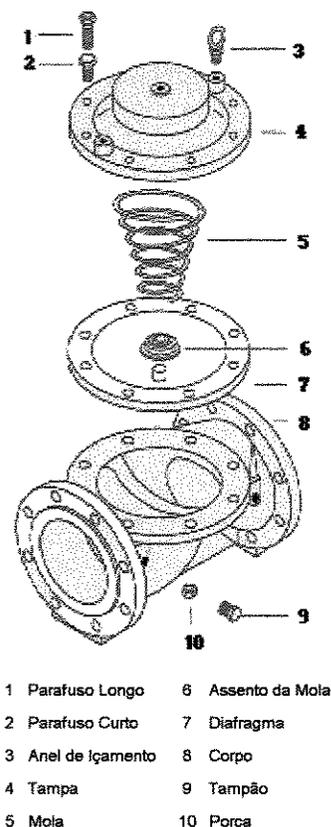


Figura 14 - Válvula Dorot - Tipo Gal - Série 200

Pela sua geometria simplificada, nota-se que a perda de carga é reduzida, conforme se verifica no gráfico “perda de carga x vazão” do modelo série 200, apesar do curso reduzido necessário para produzir uma resposta dinâmica rápida, o que é fator essencial para válvulas de controle.

As pressões de serviço são especificadas para valores compreendidos entre de 0,15 MPa (mínima) até 2,50 MPa (máxima).

O material do corpo pode ser de: Ferro Dúctil , Bronze, Aço Inoxidável, dependendo das condições a que estará sujeita a válvula, tais como: líquidos abrasivos, cavitação, etc. Existem ainda opções de revestimentos internos, algumas com materiais nobres, tipo: Poliéster, Epoxi, Esmalte entre outros, protegendo internamente o corpo contra corrosão, pelos mesmos motivos já citados. Tais opcionais influenciam diretamente no custo final do produto.

Essa válvula é extremamente leve se comparada às dos demais fabricantes, por exemplo, uma válvula de 6” pesa em torno de 75,00 Kg.

Sua única parte móvel é o diafragma, que nada mais é do que uma peça flexível que separa a câmara única do escoamento fazendo o fechamento e a abertura da válvula, sendo usualmente feito de borracha natural.

Aparentemente sua manutenção é simples, pois o conjunto mecânico da válvula não dispõe de hastes ou eixos, apenas da mola atuadora sobre o diafragma. Sendo a peça mais importante, o diafragma deve ser cuidadosamente selecionado, a partir da vazão necessária e da pressão máxima na rede.

O diafragma, segundo o fabricante, pode ser classificado em: de alta, de média (padrão) e de baixa pressão. As válvulas padronizadas são classificadas para pressão média com corpo em Ferro Fundido Nodular (Dúctil).

A válvula básica pode ser facilmente adaptada trocando-se sua tampa e, com isso, convertendo-a em :

- Tampa de fechamento manual  $\Rightarrow$  para casos em que se perde o controle hidráulico.
- Tampa de Solenóide Integral  $\Rightarrow$  para acionamento elétrico.
- Tampa indicadora de posição  $\Rightarrow$  para indicação da abertura da válvula.
- Tampa de Estrangulamento  $\Rightarrow$  para redução de pressão e de vazão.
- Tampa “Zero Pressão”  $\Rightarrow$  para vedação hermética, sob condições de pressão muito baixa.

A partir do que o fabricante chama de válvula básica, é possível adaptá-la às diversas funções hidráulicas. Este modelo encontra-se disponível nos diâmetros  $\frac{3}{4}$ ” até 16”.

#### 4.1.2 - Sistema de Controle

O sistema de controle desta VCA é feito através de uma válvula piloto. Esse componente situa-se na parte externa da válvula principal, sendo conectado diretamente à câmara atuadora e ao escoamento no corpo principal, recebendo

referências da pressão de montante e de jusante. Trata-se do cérebro da válvula, onde é comparada a variável de controle e, a partir do resultado desta comparação, é comandada a abertura ou o fechamento da válvula principal.

Este comando pode ser feito de dois modos:

a) Modo de 3 vias  $\Rightarrow$  o piloto trabalha como um seletor (operado manualmente, eletricamente ou hidraulicamente), descarregando para a atmosfera sua câmara única no caso de abertura (figura 15). Nesse modo, nota-se a perda física de água em toda operação de abertura total da válvula e, dependendo da quantidade de aberturas e fechamentos a que a mesma estará sujeita e do seu diâmetro, pode ou não ser considerado como uma desvantagem deste modelo. (Ex : Em cada operação de abertura são descarregados 9,4 litros na atmosfera do modelo “Gal” de 12”).

b) Modo de 2 vias  $\Rightarrow$  nesse caso o piloto é modular, sendo necessária ainda no circuito de controle uma válvula de agulha. A câmara única é descarregada no fluxo de saída (figura 16).

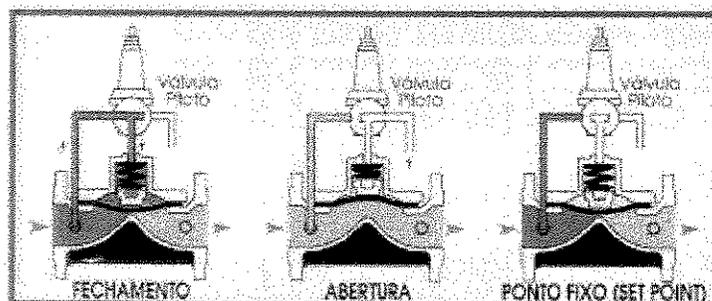


Figura 15 - Modo 3 Vias

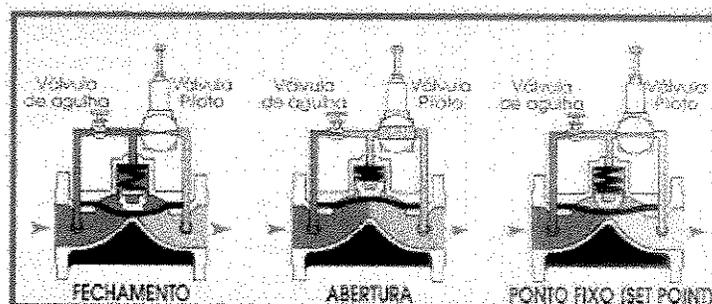


Figura 16 - Modo 2 Vias

Para VCA do tipo redutora de pressão da Dorot , existem 3 tipos de pilotos indicados pelo fabricante de acordo com o diâmetro da válvula , classe de pressão e o modo (2 ou 3 vias) 29-100 , 31-300 (figura 17) e 68-400.

Em ambos os modos (3 ou 2 vias) de controle , esse tipo de válvula tem seu funcionamento para: totalmente aberto, totalmente fechado, ou para um ponto fixo desejado calibrado (Set Point). Tem como referência as pressões de montante e jusante, além da regulagem do piloto.

É uma válvula indicada para redução de pressão em linhas com demanda constante.

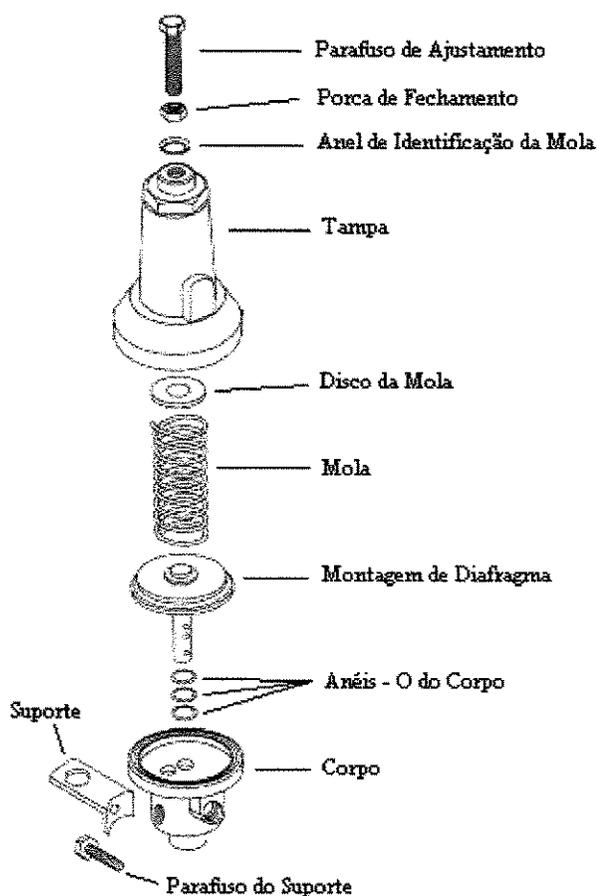


Figura 17 - Detalhe Interno do Piloto Dorot modelo 31-300

#### 4.2 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Dorot - Série

#### 4.2.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Válvula de corpo horizontal com seu eixo perpendicular ao escoamento (tipo globo). Pode ser câmara simples ou dupla, apenas com a inserção de um disco de separação (opcional) facilmente ajustado ao corpo da válvula abaixo do disco diafragma (figura 18).

Trabalha com limites máximos de pressão da ordem de 1,60 MPa (válvula padrão) e 2,45 MPa (válvula para alta pressão), possuindo ainda revestimento contra corrosão de poliéster.

Apresenta um eixo ligado ao disco diafragma e ao disco obturador, suprido ainda de uma mola na câmara da válvula e haste indicadora.

#### 4.2.2 - Sistema de Controle

Seu funcionamento se dá por acionamento hidráulico ou elétrico, controlado por uma válvula piloto e uma válvula agulha (ligada a montante), com referência da pressão de jusante. O módulo de controle pode ser de 2 ou 3 vias, semelhante ao Modelo “Gal” - Série 200 já apresentado.

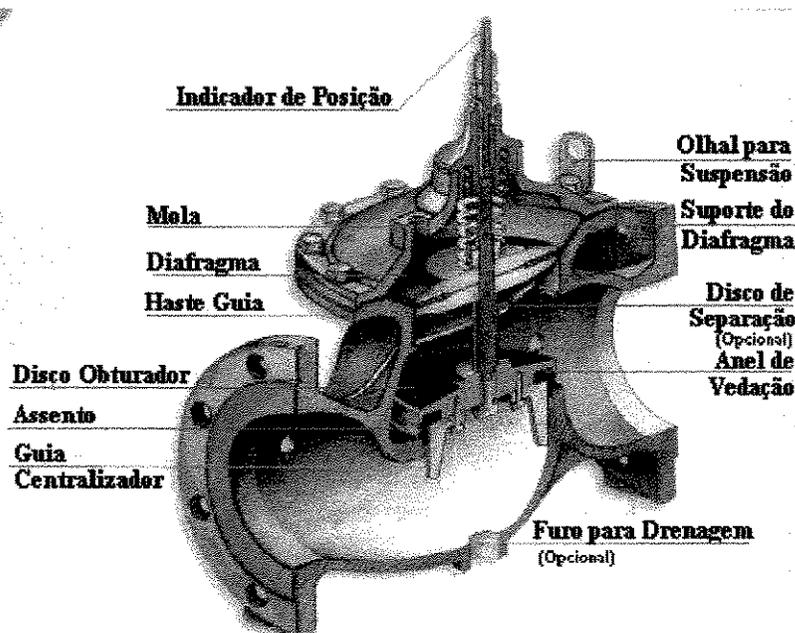


Figura 18 - Válvula Dorot - Série 300

A aplicação deste modelo é para redução de pressão em linhas de demanda variável.

#### 4.3 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Valloy - Modelo VA - 201

##### 4.3.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Corpo da válvula em Y com obturador ligado ao diafragma através de haste, sendo controlado hidráulica ou eletricamente . Pode ser operada com câmara simples ou dupla (figura 19).

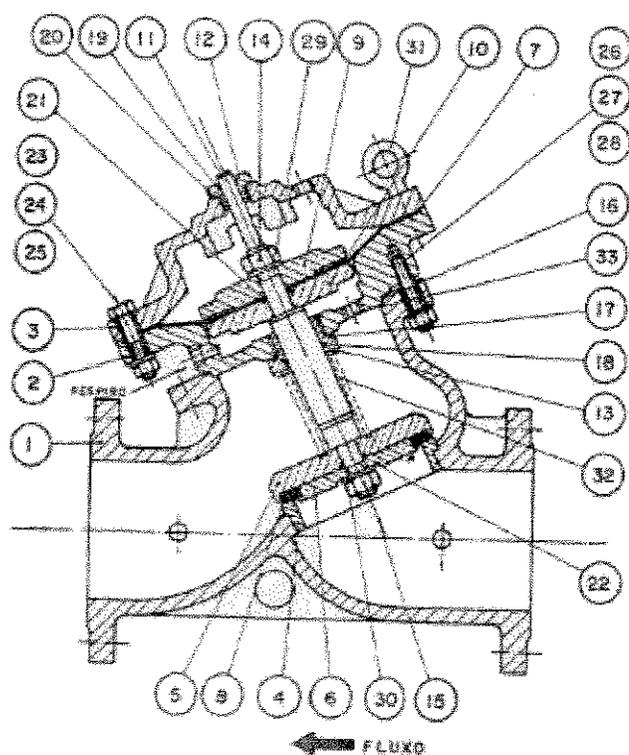
O conjunto atuador é composto basicamente pelo diafragma, mola, haste e disco obturador, sendo oblíquo em relação ao corpo (corpo Y). Sua mola se aloja entre o diafragma e o disco obturador.

Seu corpo é de ferro nodular obedecendo a ASTM A-536, haste de aço inoxidável de acordo com a AISI 304 e diafragma de buna com reforço de nylon.

Trata-se de um equipamento muito robusto e pesado, chegando uma válvula de diâmetro de 6" a pesar cerca de 145,00 Kg, enquanto similares de outros fabricantes 75Kg (Bermad e Dorot); isto significa 87% a mais de peso gerando dificuldades de instalação e manutenção.

Essas válvulas atuam em classes de pressão de 0,88 MPa, 1,05 MPa, 1,75 MPa e 2,10 MPa, e suas dimensões vão desde ½" até 20".

Pode ou não ser dotada de disco V-Port, cuja função básica é a uniformização do fluxo concentrado distribuindo-os em multi-jatos, visando a eliminar problemas como a cavitação e a formação de ondas de choque oriundas de um grande diferencial de pressão e elevada variação do fluxo.



1 Corpo	12 Guia Superior	23 Parafuso Sextavado
2 Tampa Superior	13 Guia Inferior	24 Arruela de Pressão
3 Tampa Inferior	14 Porca Sextavada	25 Porca Sextavada
4 Sede	15 Porca Sextavada	26 Tirante
5 Disco de Vedação	16 O Ring	27 Arruela de Pressão
6 Anel de Vedação	17 O Ring	28 Porca Sextavada
7 Diafragma	18 O Ring	29 Porca Sextavada
8 Vedação	19 O Ring	30 Arruela de Pressão
9 Prato Superior	20 O Ring	31 Olhal
10 Prato Inferior	21 Ó Ring	32 Mola
11 Haste	22 O Ring	33 Bujão

Figura 19 - Válvula Valloy modelo VA-201

#### 4.3.2 - Sistema de Controle

Seu acionamento é feito por piloto de 2 (figuras 20 e 21) ou 3 vias, série VA - 001, cujas funções são:

- Esgotar através de um dreno o volume líquido contido na câmara superior da válvula permitindo abertura da válvula.
- Permitir adução de líquido de montante à câmara superior para o fechamento da válvula.

Ambas as operações da válvula piloto são efetuadas tendo como referência a pressão de jusante e o ajuste da mesma.

Trata-se de válvula nacional que não apresenta nenhum item novo se comparado aos fabricantes mais antigos no mercado.

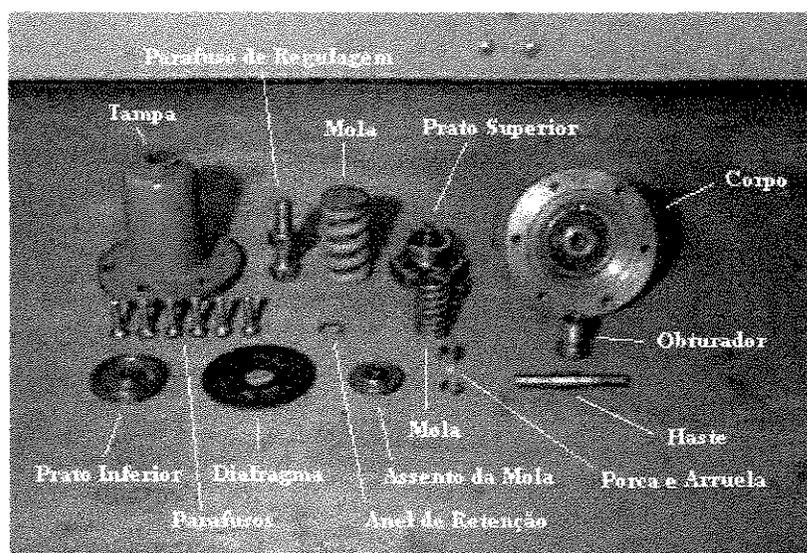
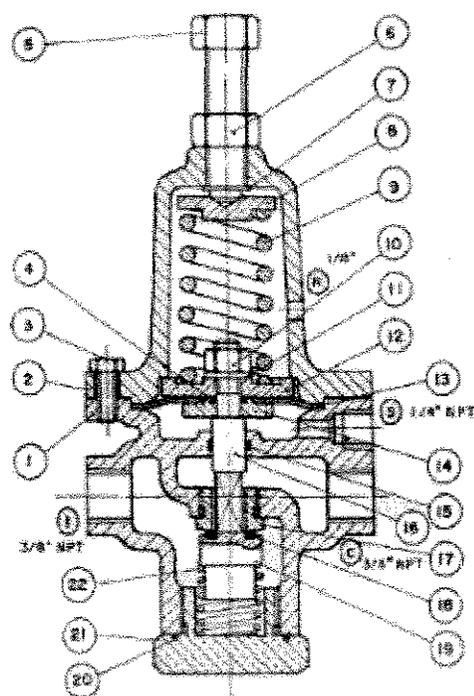


Figura 20 - Piloto 2 Vias da Válvula Valloy



1 Corpo	12 Prato Superior
2 Tampa	13 Diafragma
3 Parafuso	14 Prato Inferior
4 O Ring	15 O Ring
5 Parafuso de Regulagem	16 Haste
6 Porca	17 Sede
7 Anel de Retenção	18 Vedação
8 Assento da Mola	19 Obturador
9 Mola	20 O Ring
10 Porca	21 Tampa
11 Arruela	22 Mola

**Figura 21** - Piloto 2 Vias da Válvula Valloy

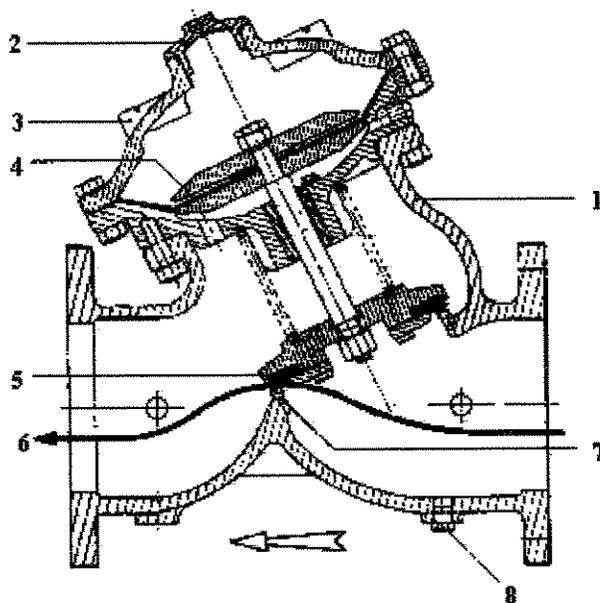
#### 4.4 -Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Bermad - série

700

##### 4.4.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Válvula com corpo em Y em ferro fundido dúctil (figura 22), que permite escoamento quase direto, resultando em baixos índices de perda de carga, porém, como já mencionado, um item sem muita importância por tratar-se de um elemento redutor de pressão. Equipamento relativamente leve, uma válvula de 6", por exemplo, pesa de 75,00 Kg (PN10 e PN16) a 85,00 Kg (PN25).

Internamente, possui na câmara atuadora, diafragma em neoprene reforçado com nylon que é preso à haste guia por meio de dois discos.



- |                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 Corpo em Y               | 5 Disco Obturador         |
| 2 Plug da Tampa            | 6 Escoamento quase direto |
| 3 Atuador com Câmara Dupla | 7 Assento Removível       |
| 4 Diafragma                | 8 Plug de Dreno           |

Figura 22 - Detalhe da Válvula Bermad - Série 700

Esta haste está ligada ao disco obturador, podendo ou não ser provida de mola interna, de acordo com sua função (Aberto/Fechado, modular).

O corpo básico da válvula, assim denominado pelo fabricante, devido às múltiplas funções a que ela pode ser ajustada, além de reduzir pressões, possui 3 orifícios sendo:

Conexões da Válvula	Função	
	Aberto/Fech.	p/ Modulação
Orifício A	Controle	Controle
Orifício B	Aberto	Fechado
Orifício C	Fechado	Aberto

Seu atuador é em câmara dupla que lhe permite um fechamento em 25% do tempo que uma válvula de câmara simples leva.

No fechamento, a válvula Bermad, o faz 90% do tempo de forma rápida, e os 10% finais de forma lenta, evitando o aparecimento de ondas de choque ou transitórios nas linhas.

Muito embora o atuador seja em câmara dupla, existe ainda a possibilidade de conversão para câmara simples procedendo à abertura de 2 orifícios no atuador e fazendo com que a pressão de jusante fique em contato direto com o diafragma.

Essa válvula está disponível nos diâmetros de 2" à 20", atuando em pressões de 1,60 a 2,50 MPa.

Apresenta opcionais como haste indicadora de abertura, fecho mecânico e disco V-Port (figura 23), este último com a finalidade de distribuir o fluxo concentrado em multi-jatos visando a evitar a cavitação e o aparecimento de ondas de choque em locais cujas características imponham altos diferenciais de pressões, além do maior deslocamento da haste proporcionando maior pressão e respostas suaves.



Figura 23 - Detalhe do Disco V-Port

#### 4.4.2 - Sistema de Controle

Seu princípio de funcionamento é por ação hidráulica, cujo controle se dá através de válvula piloto de duas vias (figura 24). Esse piloto é dotado de diafragma

sensível e válvula agulha que regula o fluxo na câmara atuadora, controlando assim a velocidade do fechamento.

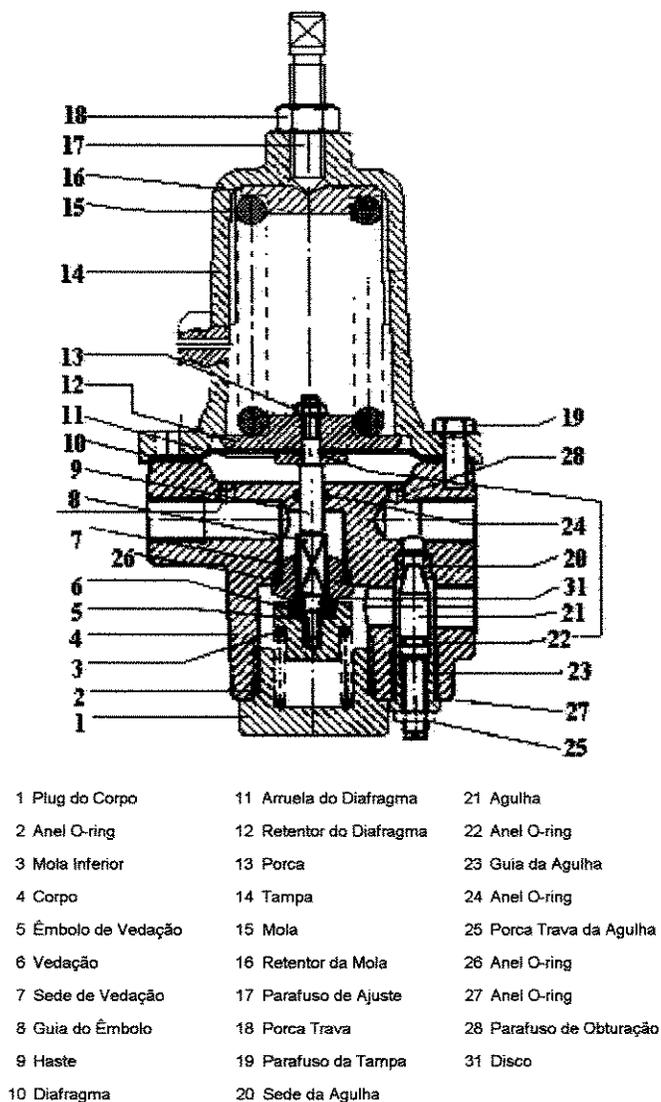


Figura 24 - Válvula Piloto n.º 2 da Bernad

#### 4.5 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Watts - Modelo ACV-115

##### 4.5.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Válvula de eixo horizontal com haste perpendicular ao sentido de fluxo (tipo globo), o que aparentemente induz a grande perda de carga, o que, como já mencionamos não é um fator importante para esse tipo de válvula (figura 25).

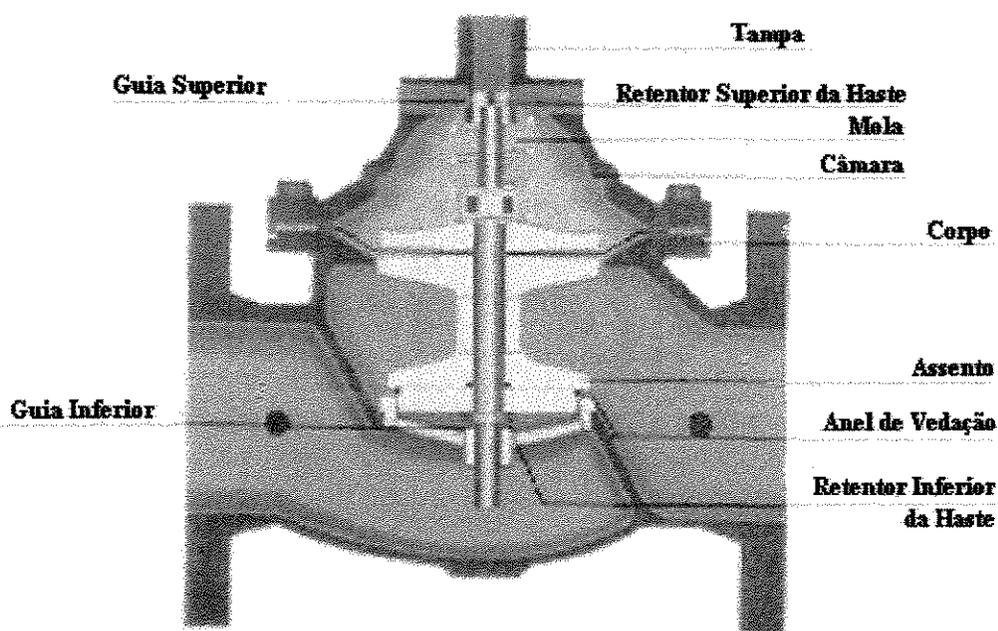


Figura 25 - Válvula Watts modelo ACV-115

Apresenta corpo em Ferro Fundido Dúctil com revestimento em Epoxi, haste vertical ligada ao diafragma e ao disco obturador, possuindo câmara simples. A mola se aloja no atuador, diferente de alguns outros fabricantes.

O diafragma é de nylon reforçado com buna-n localizando-se no atuador e fixado à haste por intermédio de 2 discos.

Os diâmetros comerciais desta válvula vão de 1¼" até 16", para vazões de até 694,00 l/s em instalações com uma única válvula, e vazões de até 820,17 l/s para instalações em paralelo.

Esta válvula atende a diferenciais de pressão da ordem de 0,07 à 1,41 MPa.

É óbvio que cada caso deve ser particularizado, porém o fabricante, em seu catálogo, faz restrições quanto à cavitação, ou seja, a partir do diferencial de pressão, é necessário se extrair de uma tabela constante no catálogo a mínima pressão de saída, sendo que abaixo desta entramos na zona de cavitação da válvula.

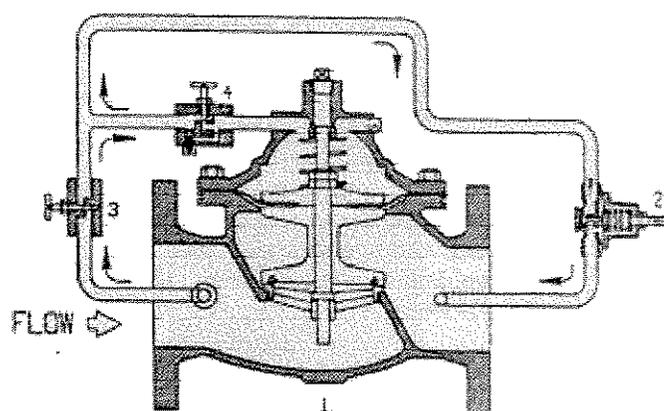
Como solução o mesmo propõe instalações em série e paralelo com válvulas de diâmetros diferentes, onde em determinado momento o fluxo atinge valores muito baixos para a válvula de maior diâmetro, o que levaria à zona de cavitação; nesse momento entra a válvula de menor diâmetro suprindo a necessidade e evitando a cavitação (paralelo), ou uma redução intermediária para em seguida reduzir-se novamente aos índices desejados (série).

Este fabricante ainda oferece uma ótima opção que é a pintura eletrostática do corpo da válvula, porém isto acresce de 10 a 15% ao custo final.

#### 4.5.2 - Sistema de Controle

O princípio de funcionamento do atuador pode ser elétrico ou hidráulico.

No sistema hidráulico, o circuito de controle possui uma válvula piloto para o ajuste da pressão de jusante requerida, uma válvula agulha ligada ao ponto de tomada de pressão a montante para controle da velocidade de fechamento, e uma válvula para controle de fluxo na tubulação de entrada do atuador visando à abertura rápida. Esse circuito propicia controle total das operações de abertura e fechamento, bem como, da velocidade dessas operações (figura 26).



- 1 Válvula Principal
- 2 Válvula Piloto
- 3 Válvula Agulha
- 4 Controle de Fluxo

Figura 26 - Sistema de Controle da Válvula Watts

#### 4.6 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão OCV - Modelo 127-3

##### 4.6.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Apresenta eixo horizontal com haste perpendicular ao fluxo (tipo globo). Seu corpo básico lhe permite facilmente ser ajustada a outras funções além de redução de pressão. O corpo desta válvula é oferecido nos seguintes materiais: Ferro, Aço, Alumínio e Bronze (figura 27).

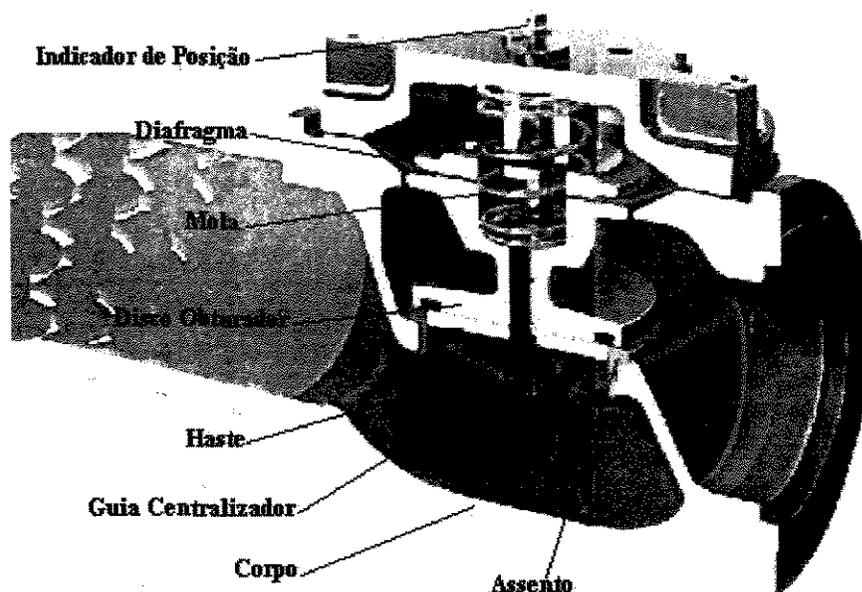


Figura 27 - Válvula OCV modelo 127-3

Internamente, apresenta haste ligada ao diafragma no atuador e ao disco obturador. A mola se encontra alojada na câmara atuadora e também na peça inteira que compõe os discos que envolvem o diafragma e o disco obturador. É dotada ainda de câmara única.

Este fabricante oferece para esse modelo de válvula várias opções de materiais, as quais estão ligadas às classes de pressão:

Material	Classe de Pressão	Pressões (MPa)
Ferro	125	até 1,23
	250	até 2,81
Aço	150	até 2,00
	300	até 5,20
Bronze	150	até 1,58
	300	até 3,52
Alumínio	150	até 2,00

O material do diafragma é de buna-n reforçado com nylon. Esta válvula é encontrada nos diâmetros de 1/4" até 16".

Este fabricante apresenta como restrição um diferencial de pressão mínimo de 0,04 MPa.

#### 4.6.2 - Sistema de Controle

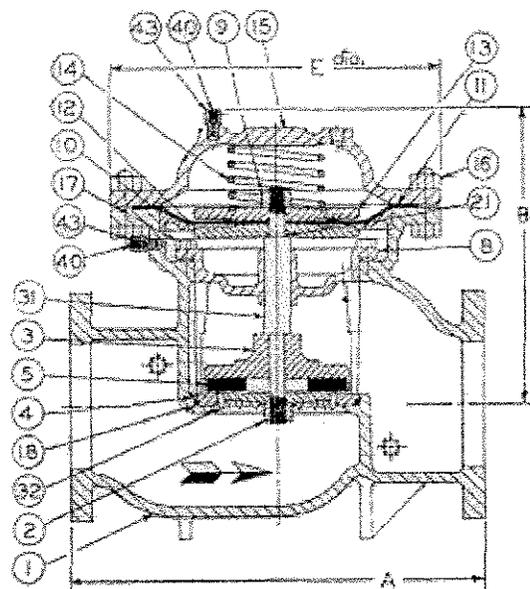
Sua operação é comandada por uma válvula piloto, sendo que a velocidade de fechamento também é controlada por uma válvula de agulha, assim a válvula OCV modula até conseguir atingir à jusante a pressão desejada.

### 4.7 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Bailey - Modelo 400

#### 4.7.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Válvula de eixo horizontal com haste perpendicular ao fluxo (tipo globo), dotada de câmara dupla, sendo que a referida haste se encontra ligada ao diafragma através de 2 discos, e ao disco obturador (figuras 28 e 29).

Sendo seu atuador em câmara dupla, a câmara inferior situada abaixo do diafragma não tem contato direto com a passagem de fluxo na válvula. Na parte superior do atuador, se aloja a mola desta válvula apoiando-se no disco que envolve o diafragma e na tampa.

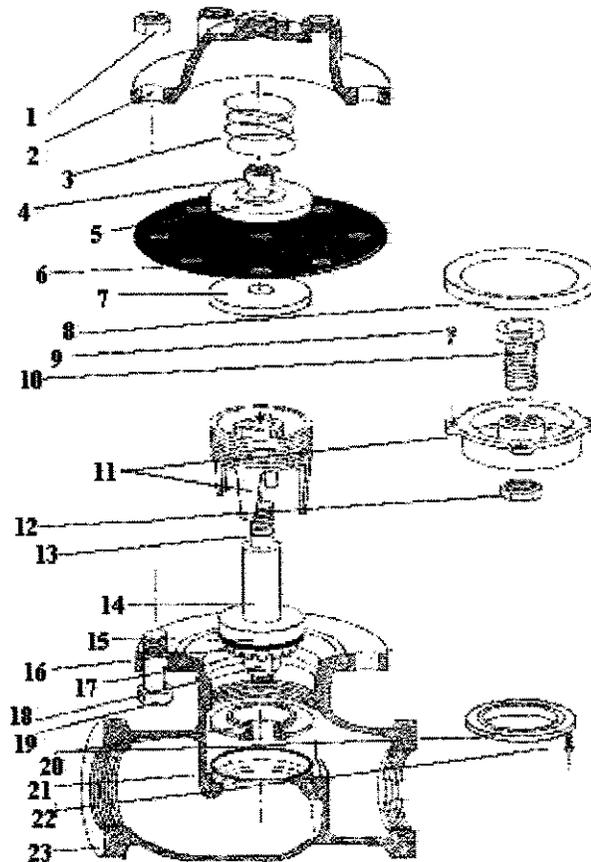


- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 Corpo                  | 13 Retentor do Diafragma |
| 2 Porca Trava            | 14 Mola                  |
| 3 Disco Fixador          | 15 Tampa                 |
| 4 Assento do Anel        | 16 Porca da Tampa        |
| 5 Disco de Assento       | 17 Parafuso da Tampa     |
| 8 Guia                   | 18 O Ring                |
| 9 Porca Trava            | 21 O Ring                |
| 10 Espaçador             | 31 Haste                 |
| 11 Diafragma             | 32 Disco V-Port          |
| 12 Retentor do Diafragma |                          |

**Figura 28** - Detalhe da Válvula Bailey modelo 400

Operacionalmente falando, a válvula modelo 400 fabricada pela Bailey pode ser operada manualmente, eletricamente ou hidraulicamente, podendo ainda ser ajustada para os diferenciais de pressão da tabela abaixo, com a simples substituição da mola da válvula piloto:

Diferenciais de Pressão da VRP Bailey modelo 400 (MPa)
0,03 à 0,14
0,14 à 0,42
0,35 à 0,70
0,63 à 1,41
1,05 à 2,11



1 Porca da Tampa.	11 Guia.	21 Anel O-ring
2 Tampa	12 Porca da Bucha Guia	22 Porca
3 Mola	13 Anel O-ring	23 Corpo
4 Porca	14 Haste Principal	
5 Prato Superior do Diafragma.	15 Disco Obturador	
6 Diafragma	16 Assento do Disco Obturador	
7 Prato Inferior do Diafragma	17 Disco V-Port	
8 Espaçador	18 Porca	
9 Parafuso da Capa.	19 Parafuso da Tampa	
10 Bucha Guia	20 Anel do Assento	

Figura 29 - Partes Componentes da Válvula Bailey modelo 400

Para assegurar o preciso controle de baixas vazões, o fabricante recomenda a instalação de disco V-Port no obturador.

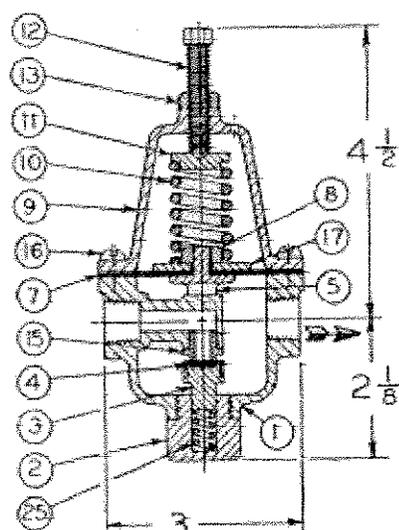
O material do corpo da válvula pode ser de Ferro, Aço e Bronze revestido com Epoxi, estando disponível no mercado nos diâmetros de 1½" até 16". Trata-se de um

equipamento relativamente pesado, uma válvula de 6", por exemplo, pesa cerca de 136,00 Kg.

O diafragma é confeccionado de buna-n reforçado com nylon.

#### 4.7.2 - Sistema de Controle

Para a sua operação hidráulica essa válvula se utiliza da pressão de entrada, tendo como referência a regulagem da válvula piloto e a pressão de jusante. A mesma ainda pode operar em funções de modulação ou Aberta/Fechada.



1 Corpo	10 Mola
2 Botão Roscável	11 Retentor da Mola
3 Disco Fixador	12 Parafuso de Ajuste
4 Disco de Assento	13 Porca Trava
5 União do Diafragma	15 Anel de Vedação
7 Diafragma	16 Parafuso da Tampa
8 Trava do Diafragma	17 Retentor do Diafragma
9 Tampa	25 Mola Auxiliar

**Figura 30** - Piloto da Válvula Bailey

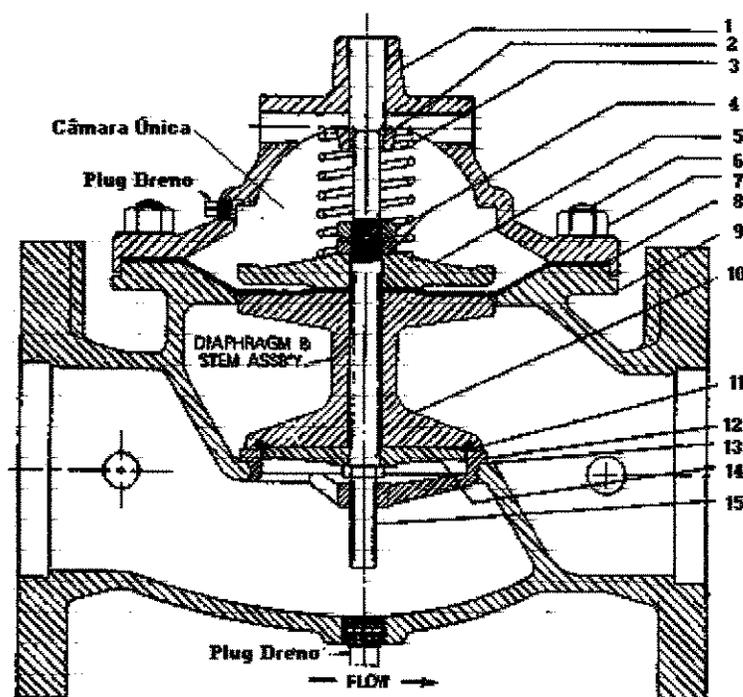
A válvula piloto para redução de pressão da Bailey é o modelo 400P (figura 30), muito simples, este piloto apresenta corpo em bronze, sendo seu funcionamento por ação hidráulica do fluido. Esse piloto é idêntico ao piloto da válvula redutora de pressão da marca Cimed a qual será abordada mais adiante.

## 4.8 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Muesco - Baker

### - Modelo 115

#### 4.8.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Aparentemente simples, esta válvula tem sua haste também perpendicular ao fluxo (tipo globo), atuador em câmara única, tendo a mola alojada na parte superior do diafragma (figura 31).



1 Tampa	6 Parafuso da Tampa	11 Anel do Assento
2 Mancal da Tampa	7 Porca do Corpo	12 Guia da Haste
3 Mola	8 Diafragma	13 Vedação
4 Porca da Haste	9 Corpo	14 Obturador
5 Prato Superior	10 Retentor	15 Haste

Figura 31 - Válvula Muesco-Baker

O material do diafragma é de buna-n (nitrilo) reforçado com nylon, e é fixado à haste por intermédio de um disco na parte superior e ao retentor (stem assb'y) na parte inferior que liga de forma inteiriça o diafragma ao disco obturador.

Esta válvula é fabricada em Bronze, Aço Inoxidável e Ferro Fundido Dúctil com revestimento em Epóxi. Seu diafragma é confeccionado em buna-n reforçado com nylon, e seus diâmetros comerciais vão de 1¼” até 16”, para as seguintes pressões:

Classe	Pressão (MPa)
125	1,23
250	2,11

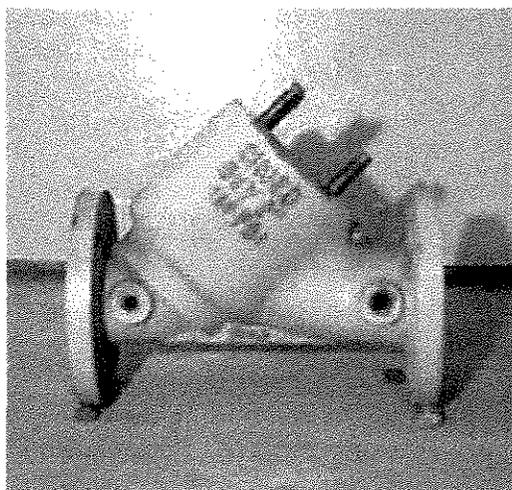
#### 4.8.2 - Sistema de Controle

É operada hidráulicamente através de uma de uma válvula piloto de 3 vias, a qual é regulada para abertura e fechamento, tendo como referência a pressão de jusante. Em toda operação de abertura, o fluido contido na câmara atuadora é descarregado na atmosfera.

#### 4.9 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Cimed - Modelo GVY - Série 163CF188 - Tipo Pistão

##### 4.9.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

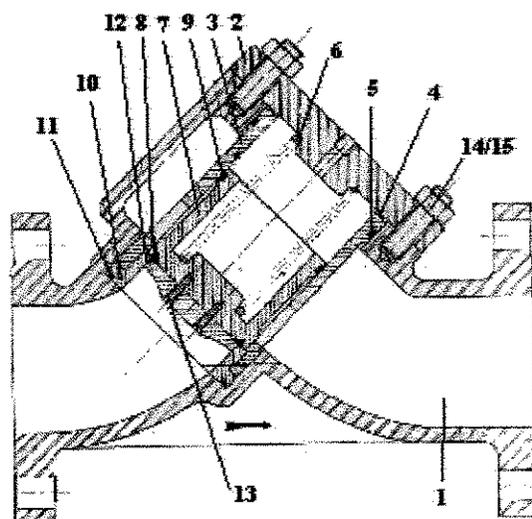
Sua geometria apresenta corpo em Y em Ferro Fundido Dúctil, oferecendo escoamento quase direto, e atuador em câmara única (figuras 32, 33 e 34).



**Figura 32 - Válvula Cimed modelo GVY - Tipo Pistão**



Figura 33 - Conjunto Pistão da Válvula Cimed Modelo GVV



1 Corpo	6 Mola	11 O-ring
2 Tampa	7 Pistão	12 Fixador
3 Camisa	8 O-ring	13 Parafuso Cab. Chata
4 O-ring	9 O-ring	14 Porcas
5 O-ring	10 Sede	15 Estojo

Figura 34 - Válvula Cimed modelo GVV - Tipo Pistão

Com relação às demais válvulas até aqui apresentadas, a válvula Cimed difere por apresentar um sistema de pistão, ou seja, dentro da válvula o que existe é um conjunto composto por um cilindro guia com janelas na parte inferior, compreendido entre a cabeça da válvula e a sede do obturador, o que permite dispensar o diafragma na válvula principal.

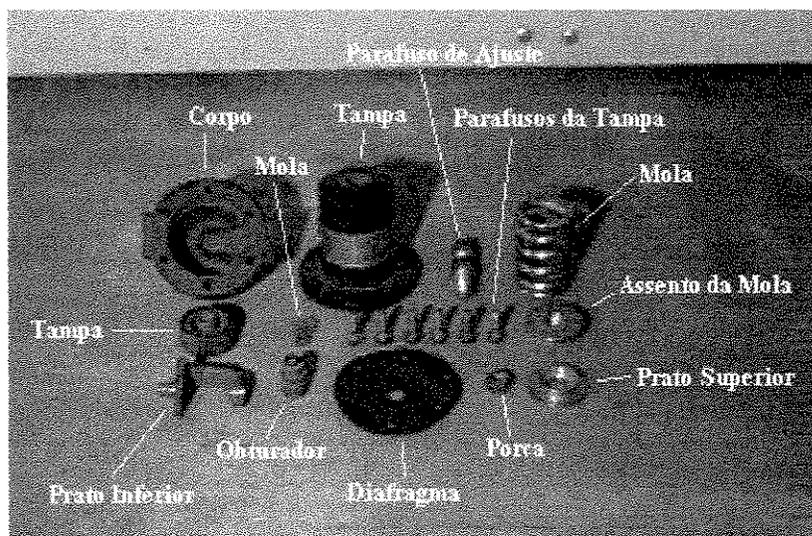
No interior desse cilindro existe uma mola e um êmbolo que se movimentam fazendo o fechamento ou a abertura, conforme a pressão hidráulica no seu interior.

#### 4.9.2 - Sistema de Controle

A válvula piloto redutora de pressão deste fabricante é o modelo RLP - Série 101RR1 (figura 35), idêntico ao piloto do fabricante Bailey.

Na sua operação, inicialmente, é feita a regulagem da pressão de saída com um simples ajuste na mola do piloto, ou seja, quanto será reduzida a pressão de montante. Na parte inferior do piloto, o mesmo possui uma entrada ligada a montante e outra à jusante. A entrada de montante, prato inferior (em forma de cachimbo), está ligada também ao diafragma fazendo o bloqueio e a liberação desta entrada de acordo com a pressão interna no piloto e a regulagem do mesmo.

A válvula Cimed é operada hidraulicamente através deste piloto, controlando através de referências a montante e a jusante, o fluxo de água no interior do pistão, fazendo assim, a abertura ou o fechamento conforme a regulagem do piloto e a pressão de montante (figura 36).



**Figura 35 - Válvula Piloto da Cimed RLP - Série 101RR1**

Sua simplicidade é bastante favorável, principalmente do ponto de vista de manutenção.

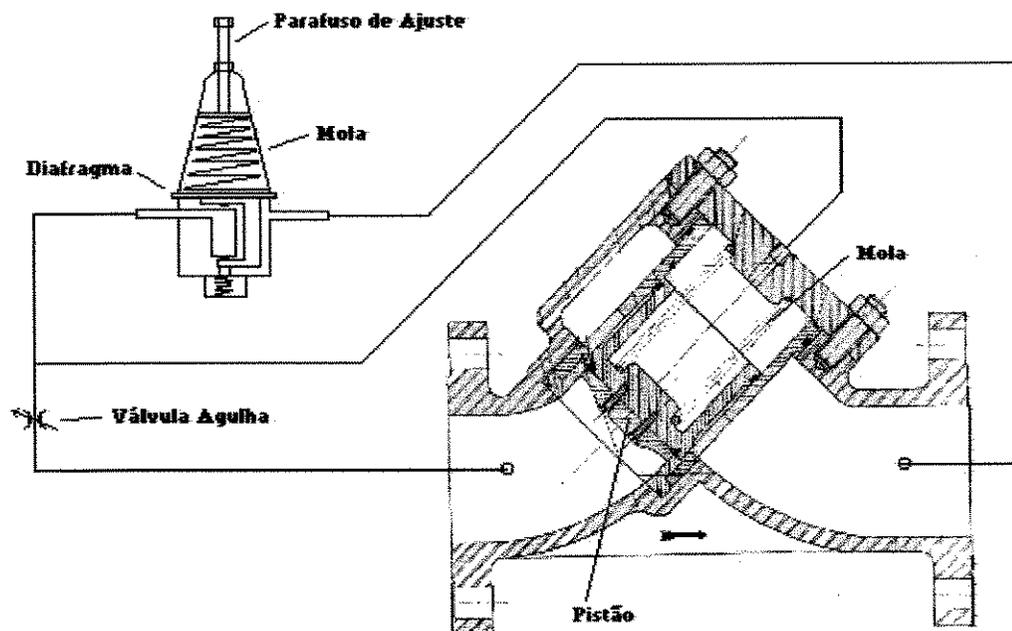


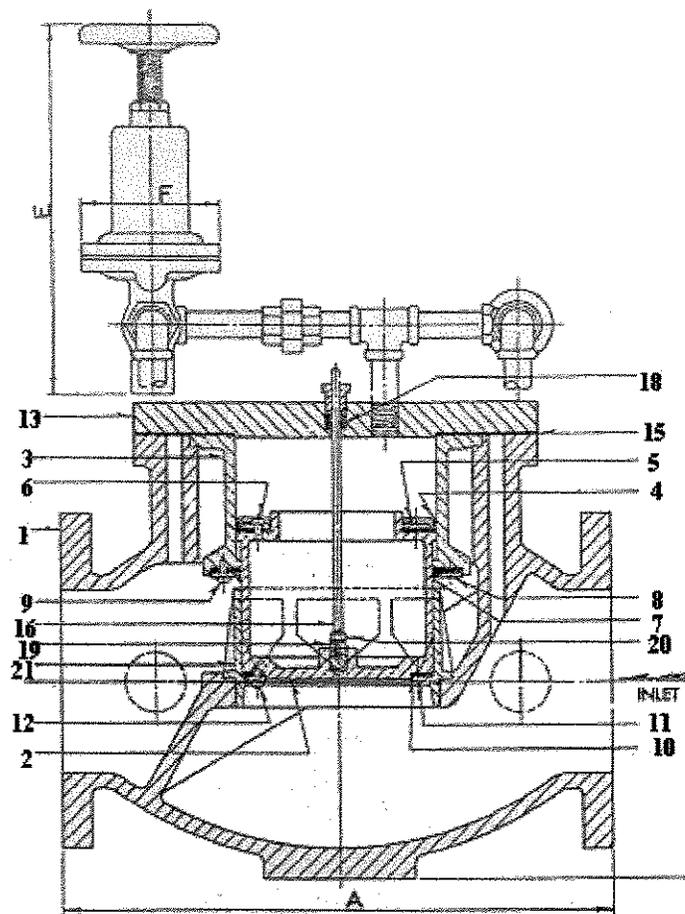
Figura 36 - Esquema Operacional da Válvula Cimed

#### 4.10 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Golden-Anderson

##### 4.10.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Assim como a válvula Cimed, esta também apresenta como atuador um conjunto de pistão composto por uma mola e um obturador, dispensando o diafragma na válvula principal. Seu corpo pode ser em Ferro ou Aço de acordo com a classe de pressão, tendo seu conjunto de pistão perpendicular ao fluxo com câmara única (figura 37).

Os diâmetros comerciais desta válvula vão de 2 ½" até 36", com seu corpo em Ferro ou Aço, para classes de pressão de 1,23 MPa (diâmetros iguais ou inferiores a 12") e 1,05 MPa (diâmetros superiores a 12"). Também trata-se de um equipamento pesado, uma válvula de 6", por exemplo, pesa cerca de 155,00 Kg.



1 Corpo	8 Anel do Cilindro Guia	16 Indicador
2 Pistão	9 Parafuso do Anel do Cilindro	18 Guia do Indicador
3 Guia do Pistão	10 Arruela do Pistão	19 Bucha do Indicador
4 Cilindro do Pistão	11 Anel da Arruela do Pistão	20 Porca do Indicador
5 Anel do Cilindro do Pistão	12 Parafuso da Arruela	21 Coroa de Assento
6 Parafuso do Anel do Cilindro	13 Tampa	
7 Cilindro Guia	15 Junta de Vedação	

Figura 37 - Detalhe Interno da Válvula Golden-Anderson

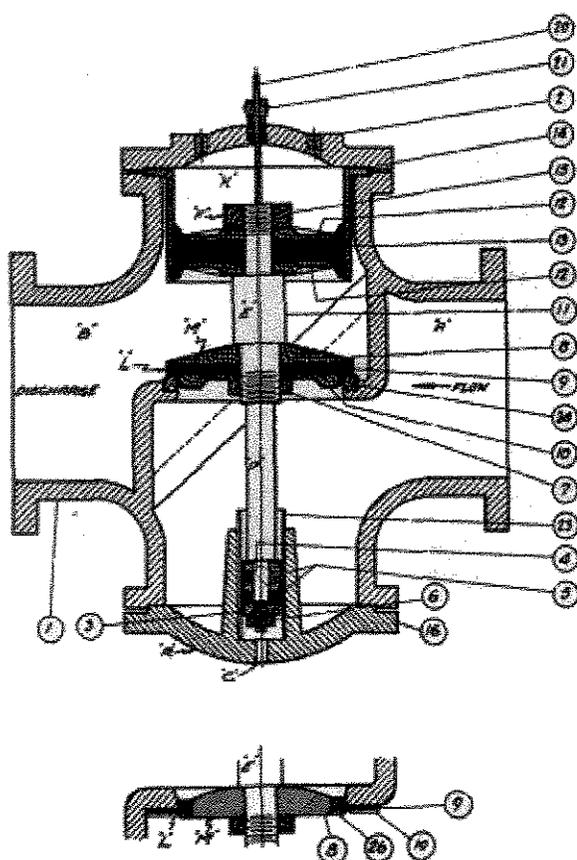
#### 4.10.2 - Sistema de Controle

A válvula piloto é construída em bronze, com pequenas diferenças, esta se assemelha e muito ao piloto fabricado pela Cimed e Bailey, diferindo apenas por apresentar além das referências de montante e jusante, uma conexão de saída com a cabeça do pistão (figura 38).



#### 4.11.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Corpo em cruz com câmara única, apresenta seu atuador perpendicular ao fluxo. Esse atuador se encontra ligado ao disco obturador formando um pistão, que é guiado por uma haste alojada na base do corpo e na tampa da válvula (figura 39). Esta válvula não apresenta mola no seu mecanismo.



- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 Corpo                        | 12 Placa do Cilindro           |
| 2 Tampa                        | 13 Cilindro de Couro Principal |
| 3 Porca do Guia da Haste       | 14 Bucha Principal             |
| 4 Botão do Cilindro            | 15 Porca da Haste              |
| 5 Cilindro do Pistão           | 16 Tampa Inferior              |
| 6 Porca da Haste               | 20 Indicador                   |
| 7 Porca da Haste               | 21 Marcador de Posição         |
| 8 Assento do Disco             | 23 Cilindro da Tampa Inferior  |
| 9 Assento do Guia              | 24 Anel de Vedação             |
| 10 Assento do Suporte de Couro | 26 Anel do Disco               |
| 11. Haste                      |                                |

Figura 39 - Detalhe da Válvula Ross modelo 40-WR

Os diâmetros comerciais desta válvula vão de ½" (não pilotada) e de 1 ½" até 30" (pilotadas), para classes de pressão de 1,27 MPa (modelo padrão) até 2,11 MPa, podendo seu corpo ser de Ferro com Bronze, Ferro Dúctil ou Aço. Esta válvula é a

mais pesada de todas, chegando um modelo de 6" de diâmetro a pesar 175,00 Kg (classe 125) e 190,00 Kg (classe 250).

#### 4.11.2 - Sistema de Controle

É operada elétrica ou hidráulicamente através da sua válvula piloto, onde, como nos outros fabricantes, faz-se o ajuste do diferencial de pressão desejado (figura 40).

Internamente, o piloto possui uma mola onde é feito o ajuste mencionado; a partir daí, toda operação da válvula principal é comandada pelo mesmo tendo como referência a pressão do fluido a montante e a jusante da válvula.

O corpo do piloto é de bronze com sua mola em aço, apresentando ajustes da seguinte ordem: 0,04 à 0,14 MPa, 0,11 à 0,42 MPa, 0,28 à 0,70 MPa, 0,56 à 1,27 MPa e 1,12 à 1,76 MPa.

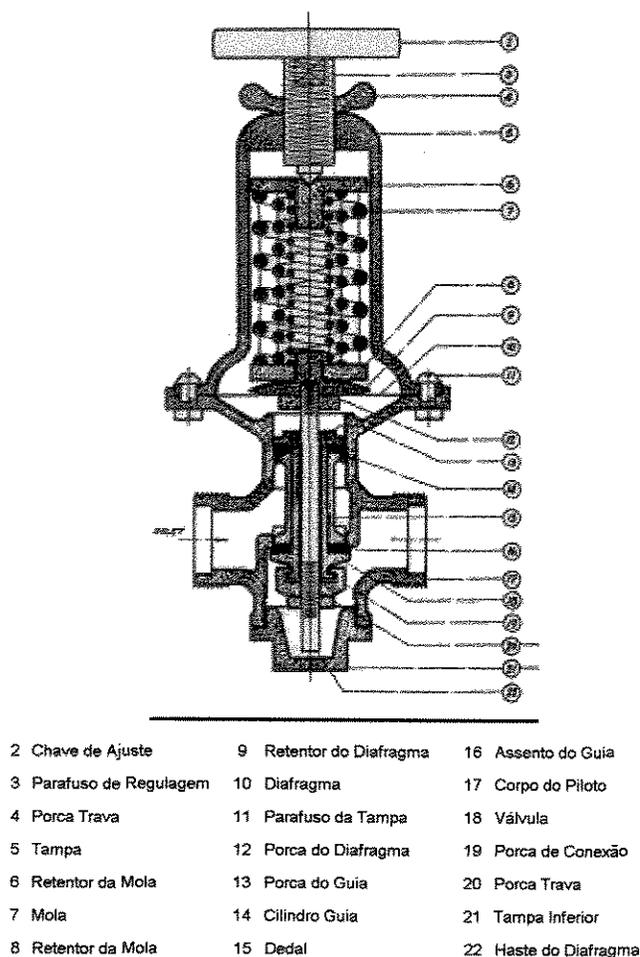


Figura 40 - Piloto da Válvula Ross modelo 40-WR

#### 4.12 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Cla-Val - Modelos 90-01, 690-01, 100, 100PA e 100P

##### 4.12.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Esse fabricante apresenta 4 modelos de válvula redutora de pressão sendo eles: 90-01, 690-01, 100, 100PA e 100P.

Os modelos 90-01 e 690-01 são válvulas de eixo horizontal apresentando atuadores em câmara única, tendo uma haste ligada desde o diafragma na câmara atuadora até o disco obturador assentado na sede do corpo. A mola se encontra alojada na câmara atuadora acima do diafragma. O fluxo do fluido no interior da válvula é perpendicular a sua haste (tipo globo).

Seu corpo é fabricado nos seguintes materiais: Ferro Dúctil, Aço, Bronze, Alumínio e Aço Inoxidável, atendendo a classes de pressão de 1,76 até 2,81 MPa, seu diafragma é fabricado em buna-n (nitrilo) reforçado com nylon, e suas haste e mola em aço inoxidável. Os tamanhos também variam de 3/8" (não pilotada), e 1/4" até 24" (pilotadas). Seu peso é cerca de 130,00 Kg (válvula de 6" de diâmetro).

Já os modelos 100, 100PA e 100P (figuras 41 e 42) diferem dos modelos descritos anteriormente por apresentarem câmara dupla, separada por um diafragma, sendo seu peso proporcional ao dos modelos 90-01 e 690-01 para diâmetros iguais. O fluxo em seu interior é perpendicular ao conjunto atuador, composto pelo disco diafragma, haste e disco obturador.

O modelo 100, funciona para sistemas de operação Aberto/Fechado, e é provido de mola localizada em sua câmara atuadora. Os modelos 100PA e 100P são para operações de modulação desprovidos de mola, apresentando ainda piloto de 4 vias.

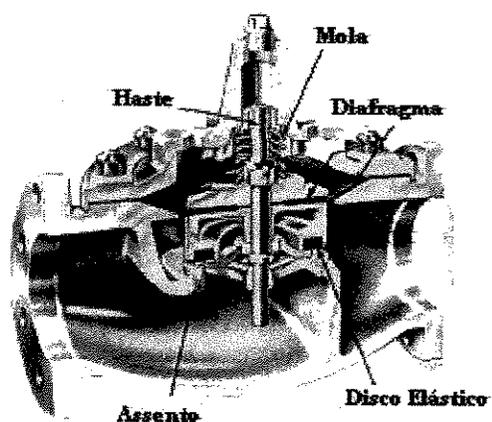


Figura 41 - Válvula Cla-Val modelo 100

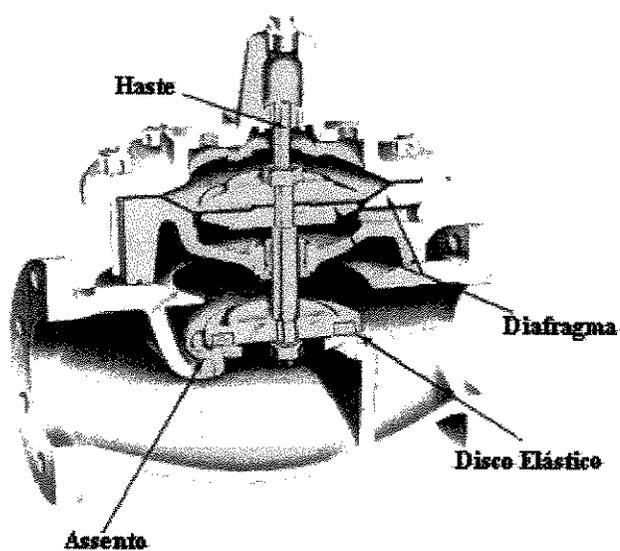


Figura 42 - Válvula Cla-Val modelos 100-PA e 100-P

O material do corpo deste modelo é em Aço, Ferro, Alumínio e Bronze; seu diafragma em buna-n (nitrilo) reforçado com nylon. Os diâmetros comerciais vão de 3/8" até 16", para as seguintes classes de pressão:

Classe	Pressão (MPa)
125	1,23
150	1,62
250	2,11
300	2,81

#### 4.12.2 - Sistema de Controle

A operação dos modelos 90-01 e 690-01 pode ser por ação elétrica ou hidráulica através de seu piloto. Esse piloto é bem similar aos demais aqui estudados (Cimed, Bailey, Golden-Anderson), possuindo: diafragma, mola, peça em formato de cachimbo ligada à referência de montante, parafuso de ajuste, entre outras.

Na operação de fechamento, a pressão de jusante movimentada o diafragma do piloto para cima fechando a entrada de água de montante no piloto e, por conseguinte, desviando todo fluxo para a câmara atuadora acima do diafragma da válvula principal. Assim, haverá um equilíbrio entre as pressões acima do diafragma e abaixo do disco obturador, que é vencido pela força da mola localizada na câmara atuadora, provocando o fechamento da válvula.

Na abertura o processo é inverso ao descrito acima, ou seja, com a queda de pressão, o diafragma do piloto é impulsionado para baixo admitindo fluido de montante em seu interior e, conseqüentemente, da câmara atuadora para jusante, provocando a abertura pela pressão exercida pelo fluido sobre o disco obturador.

A operação dos modelos 100, 100-PA e 100P pode ser por ação elétrica ou hidráulica. Neste último caso, o piloto atua de forma a direcionar o fluxo para as câmaras conforme sua regulação fazendo a abertura, fechamento ou modulação da válvula.

#### 4.13 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Singer - Modelo 106PR

##### 4.13.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Esta válvula é praticamente igual aos modelos 90-01 e 690-01 do fabricante Cla-Val, mencionados acima (figura 43).

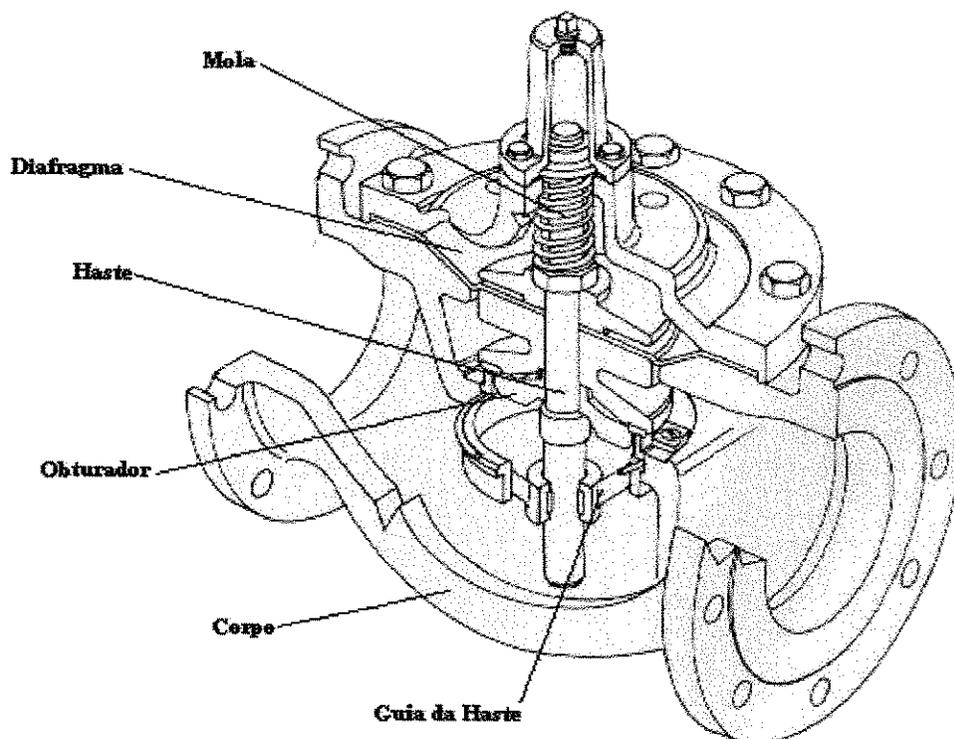


Figura 43 - Válvula Singer modelo PR

O corpo desta válvula pode ser em Ferro Dúctil, Bronze, Aço e Aço Inoxidável, seu diafragma, em borracha sintética reforçada, estando disponível nos diâmetros de 3/4" até 16", pesando um modelo de 6" de diâmetro cerca de 145,00 Kg. Esta válvula atua em classes de pressão de até 2,11 MPa.

A válvula Singer ainda apresenta atuador em câmara única com a sua mola alojada na câmara atuadora.

#### 4.13.2 - Sistema de Controle

Sua operação pode ser elétrica ou hidráulica. Neste último caso, o piloto é o modelo 100 semelhante ao dos fabricantes Cimed, Bailey, Golden-Anderson e Cla-Val, exaustivamente discutido aqui (figura 44).

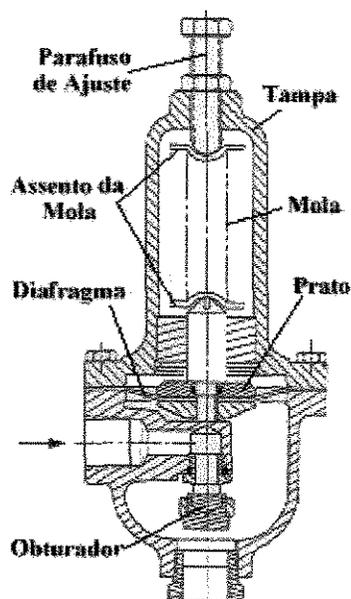


Figura 44 – Válvula Piloto Singer Modelo 100

#### 4.14 - Válvula de Controle Automática para Redução de Pressão Danfoss - Modelo C101

##### 4.14.1 - Descrição Básica, Funcionamento, Materiais e Aplicações

Válvula de eixo horizontal com atuador em câmara única, tendo sua haste perpendicular ao fluxo de escoamento (tipo globo). Apresenta sua mola alojada na câmara atuadora (figura 45).

Dotada de diafragma de borracha reforçado com buna-n (nitrilo) o mesmo se localiza no atuador, e é fixado à haste através de dois pratos (superior e inferior).

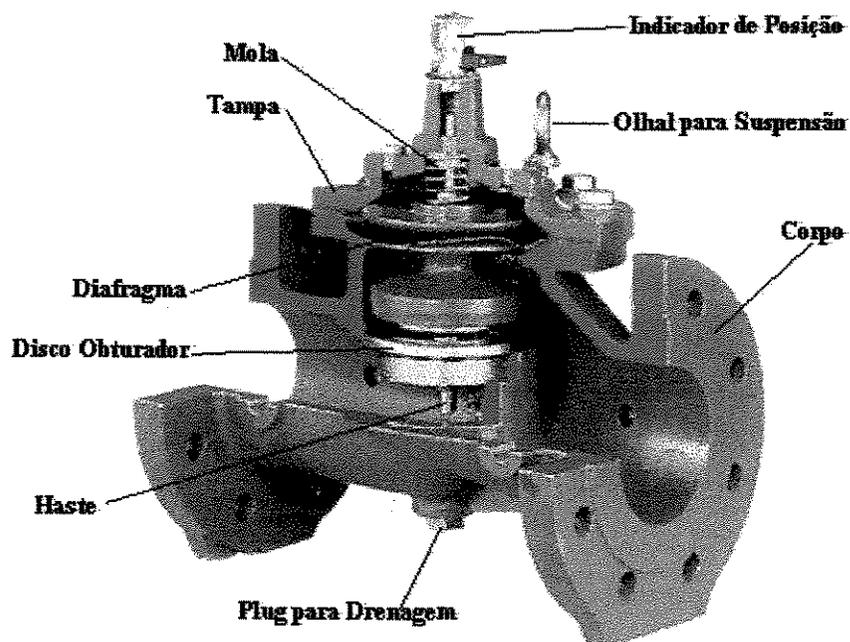


Figura 45 - Válvula de Controle Automático da Danfoss Modelo - C101

Seu corpo é de Ferro com revestimento em Epóxi, e se encontra disponível nos diâmetros de 1½" até 12", para vazões de 7,32 l/s (menor diâmetro) até 340,00 l/s (maior diâmetro). Esta válvula é a mais leve dentre todas aqui analisadas, apenas 73,00 Kg para um modelo de 6" de diâmetro. A classe de pressão desta válvula varia de 0,01 MPa até 2,76 MPa.

A presente válvula ainda é equipada com sistema para impedir o refluxo de água se fechando nesse caso, e abrindo automaticamente caso a pressão de montante caia abaixo da pressão de jusante, revertendo o fluxo.

Em casos de diferencial de pressão muito elevado, o fabricante recomenda a associação de válvulas em série ou em paralelo, evitando assim o aparecimento de cavitação.

#### 4.14.2 - Sistema de Controle

A operação pode ser hidráulica ou elétrica, sendo sua válvula piloto idêntica à do fabricante Cimed, exaustivamente comentada, controlando através de referências a montante e a jusante, o fluxo de água no interior da câmara atuadora, fazendo assim, a abertura ou o fechamento conforme a regulagem do piloto e a pressão de montante (figura 46).

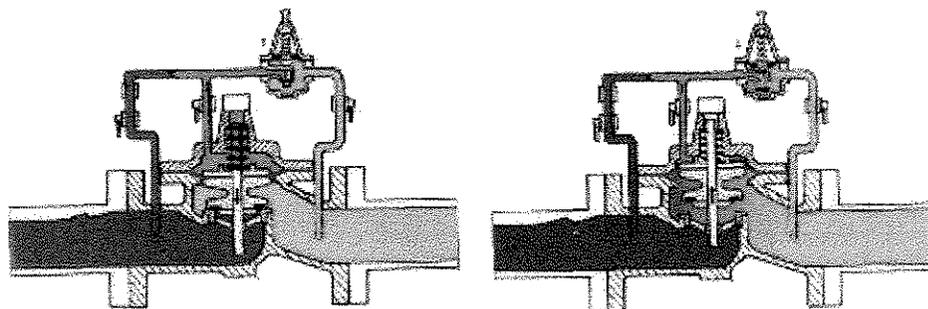


Figura 46 - Esquema Operacional da Válvula Danfoss Modelo - C101

#### 4.15 - Comentários Gerais e Avaliações sobre as Válvulas de Controle Automáticas para Redução de Pressão

Após uma análise individualizada dos diversos modelos de Válvulas de Controle Automáticas (VCA) para redução de pressão, será feita a comparação entre si dos 13 fabricantes estudados até aqui, que são em sua maioria estrangeiros.

Para uma melhor compreensão, foi montada uma tabela comparativa (Tabela 1), onde estão relacionados todos os fabricantes com os seus respectivos modelos e analisados os principais itens (concepção geométrica, tipos de atuadores, sistemas de atuadores, etc.).

Nota-se que as diferenças vão desde a concepção geométrica das válvulas até seu sistema atuador. Partindo da concepção geométrica do corpo, temos:

- Corpo em “Y” (22% dos fabricantes estudados)
- Corpo em “T” - Válvulas Globo (64% dos fabricantes estudados)

- Corpo em Cruz (7% dos fabricantes estudados)
- Corpo Horizontal (7% dos fabricantes estudados)

Aparentemente as várias concepções geométricas do corpo nada significam, porém nota-se uma diferença no peso entre os diversos fabricantes de até 140%.

Pode-se observar que o modelo em “Cruz” do fabricante Ross, apresenta um corpo excessivamente robusto e pesado (175,00 Kg um modelo de 6”), sendo o mais pesado entre todos aqui analisados. Nota-se também, que o fabricante não se preocupou com a economia de material do corpo, e tão pouco com o manuseio em caso de manutenção.

Os fabricantes Golden-Anderson (155,00 Kg -  $\phi$  6”), Valloy (145,00 Kg -  $\phi$  6”), Singer (145,00 Kg -  $\phi$  6”), Bailey (136,00 Kg -  $\phi$  6”) e Cla-Val (130,00 Kg -  $\phi$  6”), também podem se enquadrar nesta análise, pois, embora um pouco menos pesados, ainda assim são de difícil manuseio, e, neste exemplo com válvulas de 6”, dificilmente apenas um ou dois homens teriam condições de fazer a instalação ou remoção da mesma da estrutura de controle em que se encontrar instalada.

Os fabricantes Dorot (modelo Tipo “Gal” pesando 75 Kg -  $\phi$  6”), Bermad (75 Kg -  $\phi$  6”) e Danfoss (73 Kg -  $\phi$  6”), são os mais leves entre os similares. Isto se torna um item muito importante quando se fala em estruturas de controle enterradas.

Em sua grande maioria, as válvulas aqui estudadas apresentam corpo em “T” (tipo globo) e, em comparação com as válvulas com o corpo em “Y”, apresentam como vantagem 2 mancais de apoio da haste do conjunto atuador-obturador, um localizado na tampa da válvula (câmara atuadora), outro fixado à sede onde se assenta o disco obturador, enquanto as válvulas com o corpo em “Y”, possuem apenas 1 mancal de apoio para seu conjunto atuador, localizado na separação da sua câmara atuadora.

Dependendo das condições de operação, estas válvulas com 1 mancal de apoio poderão sofrer algum tipo de vibração.

Ainda no aspecto da geometria, a válvula de corpo em “Cruz” da Ross, apresenta também 2 mancais de apoio do conjunto atuador, porém seu formato faz com que necessite de espaços mínimos (acima e abaixo do corpo) no local da instalação para sua manutenção.

Com relação aos tamanhos disponíveis, os fabricantes Golden-Anderson e Ross oferecem válvulas até 36” e 30” respectivamente sem prévia consulta; já o fabricante Watts oferece também até 36”, porém sob consulta. O menor diâmetro disponível é de 3/8” do fabricante Cla-Val, porém não pilotada. Em média (62% dos fabricantes) oferecem as válvulas entre diâmetros de 1½” e 1¼” (mínimo) até 16” e 20” (máximo).

Quanto aos materiais de confecção do corpo e dos componentes, existem várias opções, podendo ser de materiais mais nobres e mais resistentes à cavitação, de acordo com a necessidade do consumidor. É óbvio que esta opção incide diretamente no custo final do produto.

Dos fabricantes estudados, 46% se restringem apenas à válvulas com corpo em Ferro Fundido Dúctil. Os fabricantes Dorot, OCV, Bailey, Muesco-Baker, Golden-Anderson, Cla-Val e Singer (representando 54%), oferecem além do Ferro Fundido Dúctil, outros materiais para o corpo, tais como: Bronze, Aço, Aço Inoxidável e Alumínio, mais revestimentos internos.

Neste caso, trata-se de um item importante a opção de materiais, pois muitas vezes as concepções de projeto não podem ser mudadas. É claro que a relação custo-benefício é o fator preponderante, porém alternativas sempre são favoráveis.

Quanto ao sistema atuador, as Válvulas de Controle Automáticas estão divididas em:

- Diafragma (Câmara Simples ou Câmara Dupla)
- Pistão (Câmara Simples)

Dos modelos estudados, as válvulas com atuadores em pistão apresentam-se como um bom sistema mecânico, principalmente do ponto de vista de manutenção. Os pistões são peças mais robustas, se comparados ao diafragma, e, quando juntados ao corpo da válvula, formam uma estrutura solidária, como se ambos fossem únicos.

Esta estrutura é extremamente simples em sua montagem e desmontagem, e seu desgaste está restrito ao atrito provocado pelo pistão e a camisa que o envolve. Novamente as condições hidráulicas a que estará submetida a válvula (diferencial de pressão), são fatores preponderantes. Existe a possibilidade de outros materiais mais nobres para o pistão.

Neste tipo de atuadores se encontram os fabricantes Golden-Anderson, Cimed e Ross.

Os atuadores do tipo diafragma são outra boa opção, porém indicam ser um item mais fragilizado mesmo sendo de buna-n (nitrilo) com reforço em nylon em sua maioria. É um componente de elevada importância nas válvulas deste tipo, sendo sua exigência constante na operação da mesma, portanto qualquer dano sofrido pelo diafragma ou mesmo sua ruptura, acabará por comprometer todo o sistema redutor.

No catálogo do fabricante Dorot, em seu modelo "Gal", onde o fechamento da válvula é feito pelo próprio diafragma se assentando diretamente em seu corpo, nota-se a grande preocupação com este item, o qual é cuidadosamente dimensionado em função das pressões de trabalho (altas e baixas) e da vazão.

Quanto à câmara atuadora, os modelos com câmara simples (única), são de extrema simplicidade e de maior praticidade quanto ao seu sistema hidráulico de atuação. Como evidência deste fato temos o modelo "Gal" do fabricante Dorot, sendo a válvula mais simples entre todas as avaliadas, principalmente quanto a sua manutenção.

Os modelos com câmara dupla permitem fechamentos em menor tempo, porém são mais complexos e laboriosos em seu circuito válvula/piloto.

Fabricante	Modelo/Série	Geometria do Corpo				Câmara Atuadora		Sistema Atuador		Sistema de Proteção à Cavitação		Peso Médio (Kg)
		"Y"	"T"	"Cruz"	"Horizontal"	Simples	Dupla	Diafragma	Pistão	Disco V-Port	Associação Série/Paralelo	Válvula de 150 mm
Dorot	200				X	X		X			X	75.00
Dorot	300		X			X	X	X		X		-
Valloy	VA-201	X				X	X	X		X		145.00
Bermad	700	X				X	X	X		X		75.00
Watts	ACV-115		X			X		X			X	100,00 (*)
OCV	127-3		X			X		X			X	-
Bailey	400		X				X	X		X		136.00
Muesco-Baker	-		X			X		X			X	-
Cimed	GVY-163CF188	X				X			X		X	75,00 (**)
Golden-Anderson	-		X			X			X		X	155.00
Ross	4QWR			X		X			X		X	175.00
Cla-Val	90-01 e 690-01		X			X		X			X	130.00
Cla-Val	100PA e 100P		X				X	X			X	130.00
Singer	106PR		X			X		X			X	145.00
Danfoss	C101		X			X		X			X	73.00

(\*) Dado obtido com a BBL – Bureau Brasileiro S/C Ltda., representante da Watts no Brasil

(\*\*) Dado obtido por estimativa a partir da pesagem de Válvulas Cimed de 2", 3" e 4" de diâmetro

Tabela 1 – Comparativo entre Válvulas Típicas

A evolução de um produto oferecendo sempre o maior número de opções é o que faz a diferença no mercado, no caso específico de câmaras atuadoras, alguns fabricantes possuem modelos plenamente adequáveis aos dois tipos de câmaras atuadoras, revertidos conforme interesse do cliente. São eles: Dorot (Série 300), Valloy, Bailey e Bermad.

Na tentativa de solucionar casos de excesso de pressão, a válvula redutora surgiu como uma alternativa, porém sabe-se que a mesma também tem seus limites e não é a solução de todos os problemas. Em muitos casos, em que o diferencial de pressão é muito grande, pode surgir a cavitação danosa, substituindo o problema antigo por um novo.

Daí a necessidade de se conhecer cada vez mais o equipamento que se está comprando, bem como seus limites. Neste sentido é igualmente importante o conhecimento das Curvas de Cavitação dessas válvulas.

De todos os fabricantes estudados, apenas Singer, Cla-Val, Valloy, Bermad e Danfoss trazem em seus catálogos as Curvas de Cavitação de suas válvulas, os demais fabricantes não apresentam esta importante informação. A maioria se limita a apresentar ábacos ou tabelas onde o cliente pode verificar o máximo diferencial de pressão possível para não ocorrer cavitação.

Dentre os 12 modelos estudados, os fabricantes Bermad, Valloy e Dorot (Série 300), sugerem como opção aos danos provocados pela cavitação, a instalação de disco V-Port, que nada mais é que um acessório acoplado ao disco obturador com a função de distribuir o fluxo concentrado em multi-jatos fazendo uma uniformização no fluxo baixo, principalmente, quando o diferencial de pressão é alto.

Os demais fabricantes sugerem associações em série ou em paralelo de válvulas para casos de baixo fluxo, o que sem dúvida é uma boa sugestão. Em caso de baixas taxas de vazão, uma válvula grande se fecharia passando a atuar uma válvula menor (associação em paralelo), ou uma válvula grande faria uma redução intermediária da

pressão (razão fixa), e **outra** localizada na mesma linha após essa, faria nova redução aos índices desejados (**associação em série**).

Os pilotos são os **verdadeiros** cérebros das válvulas e é por onde a regulação da pressão de saída é feita. **Todos** os pilotos aqui estudados são bem semelhantes atuando com diafragmas, sem **exceção**, apenas o do fabricante Bermad merece uma citação especial, pois o mesmo **já** apresenta acoplado ao seu corpo uma válvula agulha para regulação da **velocidade** de fechamento, dispensando a instalação deste item no circuito.

Os fabricantes **Cimed**, Bailey, Golden-Anderson, Cla-Val, Singer e Danfoss, apresentaram modelos **de** piloto bastante simplificados e semelhantes. Nos demais modelos nada de novo **ou** inovador a acrescentar.

Baseando-se em **todas** as observações efetuadas até aqui, pode-se elaborar uma classificação de quais **seriam** os melhores modelos projetados, principalmente quanto a sua geometria, opção **de** material, revestimento, peso, facilidade de manutenção, versatilidade, acessórios e sistema atuador.

- Dorot (Modelo “Gal”) é marcada por ser um equipamento leve, versátil pela fácil adaptação, apenas trocando-se sua tampa pode-se mudar seu sistema atuador (elétrico ou hidráulico), e simples em sua manutenção;

- Dorot (Série 300) é um equipamento igualmente versátil, podendo o cliente mudar seu sistema atuador de câmara simples para dupla apenas com a inserção de um disco de separação. Oferece também outras opções de material e revestimento em poliéster;

- Bermad (Série 700) é também marcada pela sua leveza se comparado aos demais fabricantes. Versátil oferece um bom número de opções, recursos e acessórios, entre eles a opção do seu atuador ser em câmara simples ou dupla, apenas para isso ajustando seu circuito de controle às duas câmaras. Além disso apresenta um piloto já dotado de válvula agulha;

- Watts (Modelo ACV-115) é marcada pela praticidade na manutenção, em caso de substituição da haste, ou mesmo do diafragma, é feito a troca de todo o conjunto atuador/obturador. Oferece ainda opções de materiais do corpo, do diafragma e até dos diâmetros fabricados (até 36" sob consulta), além de revestimentos internos e externos de resina epóxi fundida sem custo adicional;

- Golden-Anderson, muito prática em sua manutenção além de sua robustez por apresentar atuador do tipo pistão com janelas para passagem do fluxo, cujo formato varia fazendo a mesma função de um disco V-Port. Também oferece diâmetros grandes (até 36") sem prévia consulta. Entretanto seu peso excessivo limita este modelo.

As demais válvulas embora marcadas muitas delas pela praticidade de manutenção, apresentam excesso peso, falta de opção de material do corpo e revestimentos internos e externos, perdendo numa comparação final individualizada.

## 5. MATERIAIS E METODOLOGIA

### 5.1 – Experimentação

A fim de se verificar experimentalmente o desempenho de uma VCA, foram feitas algumas séries de aquisições de dados num modelo real (figura 47).

O modelo é composto por:

- conjunto moto-bomba
- caixa de água de 1.000 litros
- 14,80 m de tubo de ferro fundido  $\phi$  3"
- 200,00 m de tubo PEAD  $\phi$  3/4"
- válvula de controle automática Bermad – Série 700 -  $\phi$  3" – sem disco V-Port
- válvula solenóide ( $V_1$ )
- válvula esfera  $\phi$  3/4" ( $V_3$ )

Para a aquisição dos dados foram utilizados:

- 2 transdutores de pressão do tipo strain gage – Sodemex - 0 à 0,5 MPa – ( $T_1$  e  $T_2$ )

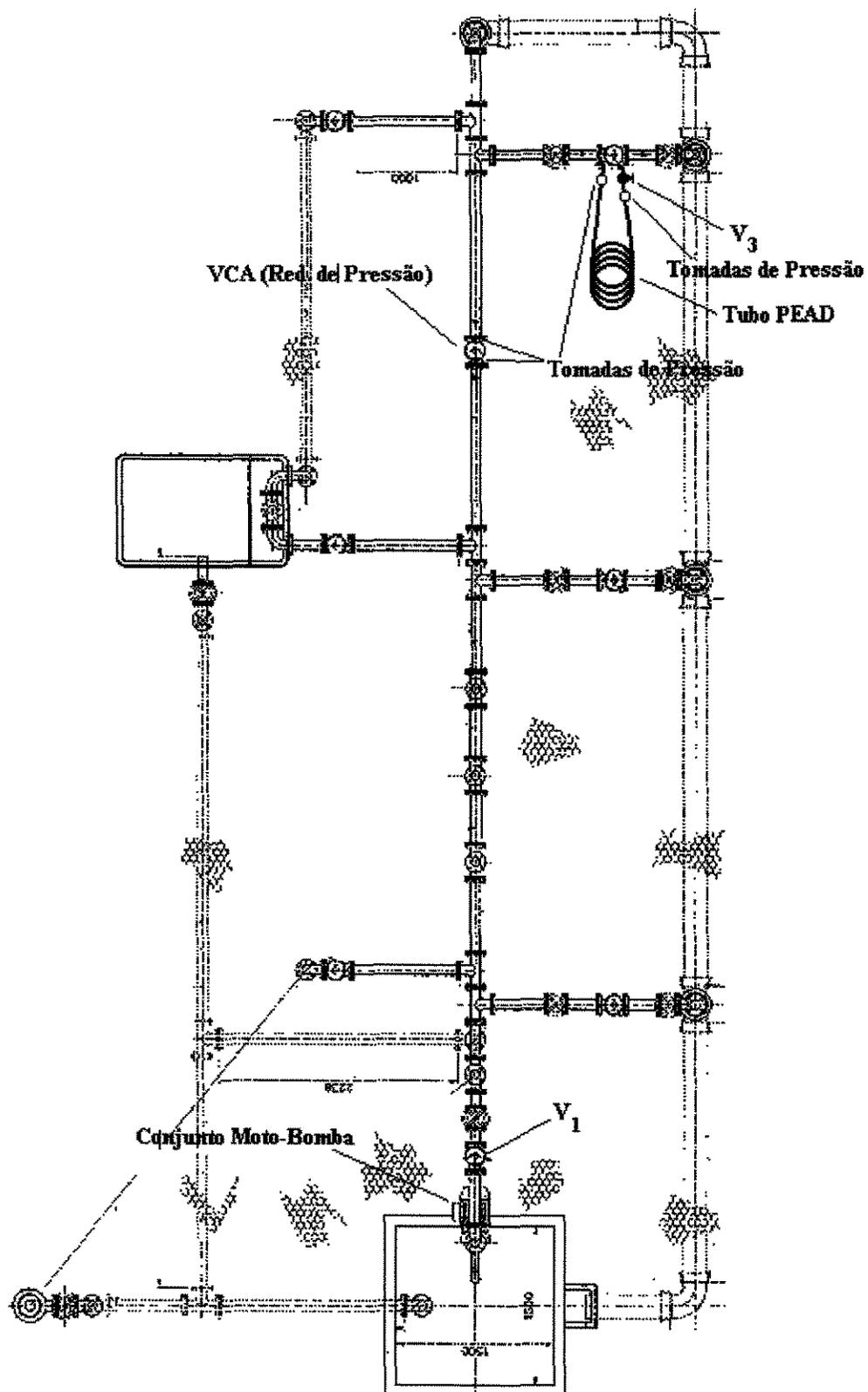
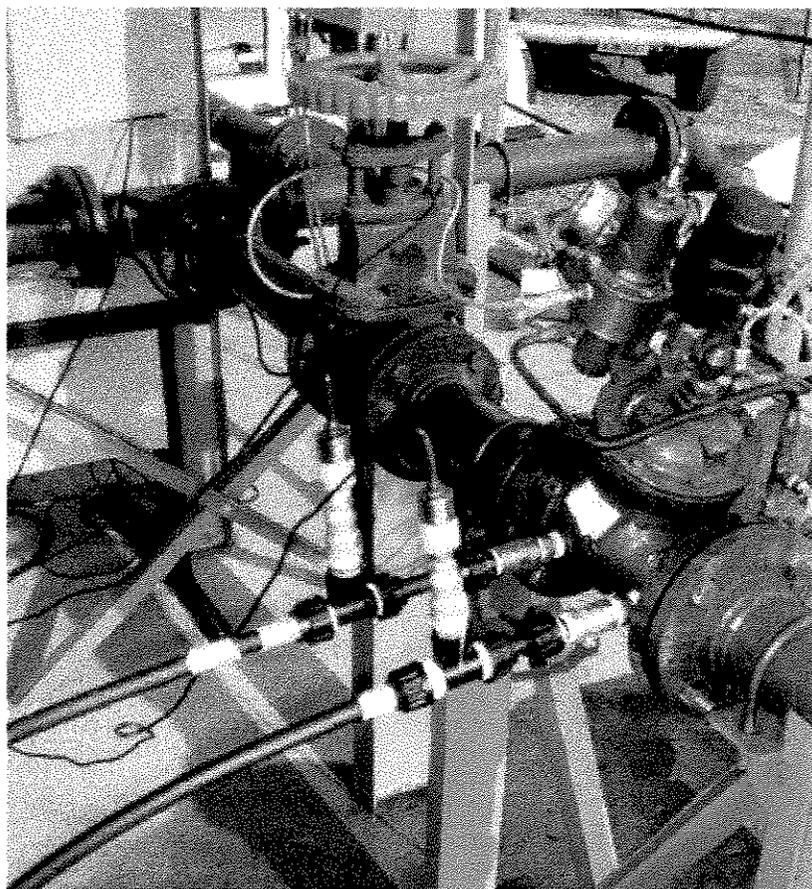


Figura 47 – Planta Geral das instalações de modelação da Barbára

- 1 computador para aquisição dos dados de pressão, provido de placa, conversor A/D – Mod. 12/32-32 e software Aqdados marca Lynx
- 1 computador para aquisição dos dados de posição da VCA, provido de programa de aquisição
- 1 sensor de posição

Foram feitas 21 medições, porém aqui são apresentados os resultados de 14 delas (gráficos de 1 à 14). Cada um desses gráficos apresenta particularidades diferentes, incluindo dois posicionamentos distintos dos transdutores, um na entrada e na saída da VCA e outro à 2,60 m e 202,60 m da saída da VCA (figuras 48 e 49).

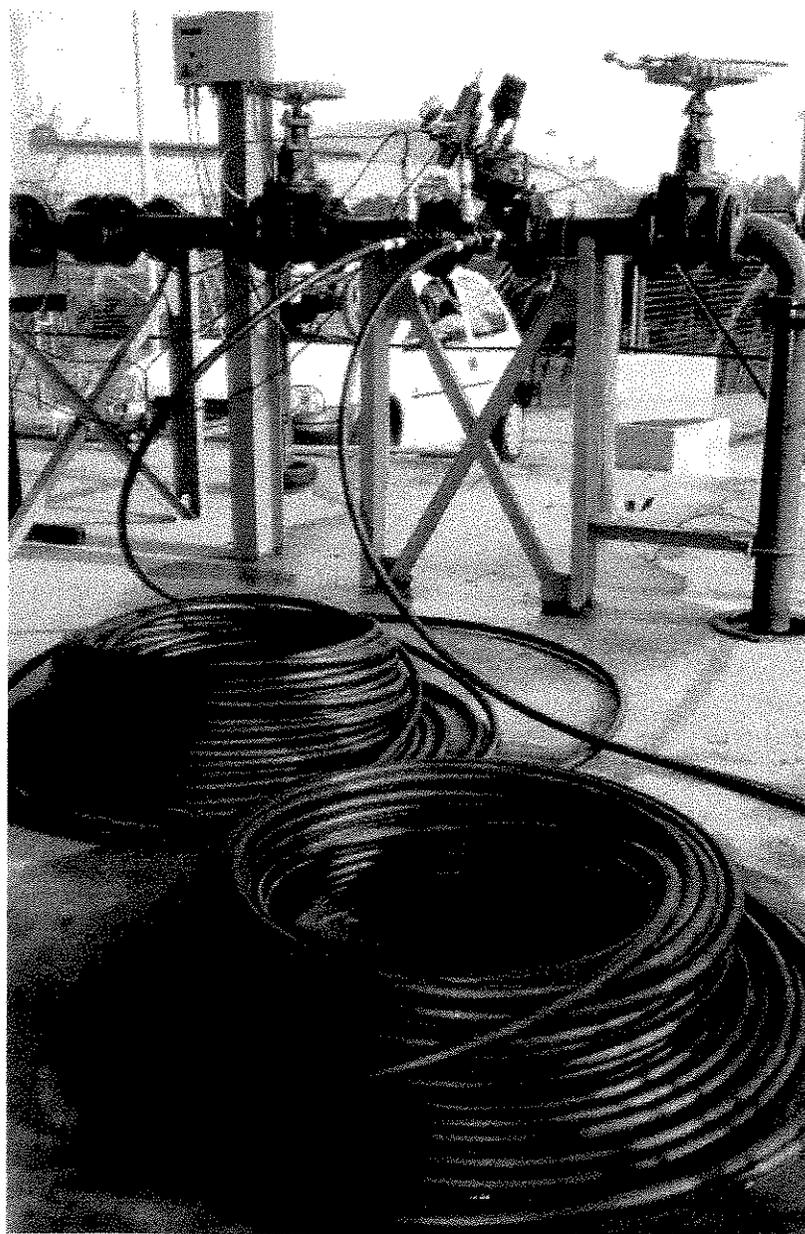


**Figura 48** – Transdutores posicionados à 2,60 m e 202,60 m da saída da VCA durante ensaio na Barbará

A bancada experimental é pressurizada através de um conjunto moto-bomba, controlado por uma válvula solenóide ( $V_1$ ), cujo acionamento se dá via computador. O

escoamento no sistema se desenvolve através de 14,80 m de tubo de F<sup>o</sup>F<sup>o</sup>, onde está posicionada uma VCA redutora de pressão regulada ao longo dos ensaios a diferentes pressões de saída, prosseguindo por mais 200,00 m de tubo PEAD, onde no final se encontra um válvula esfera (V<sub>3</sub>), a partir deste ponto por mais 1,50 m em tubo de F<sup>o</sup>F<sup>o</sup> até descarregar na atmosfera em uma canaleta.

Inicialmente estabeleceu-se o regime permanente para só então ser efetuada alguma operação no sistema através da válvula esfera (V<sub>3</sub>).



**Figura 49** – Vista dos 200,00 m de Tubo PEAD com os transdutores posicionados à 2,60 m e 202,60 m da saída da VCA

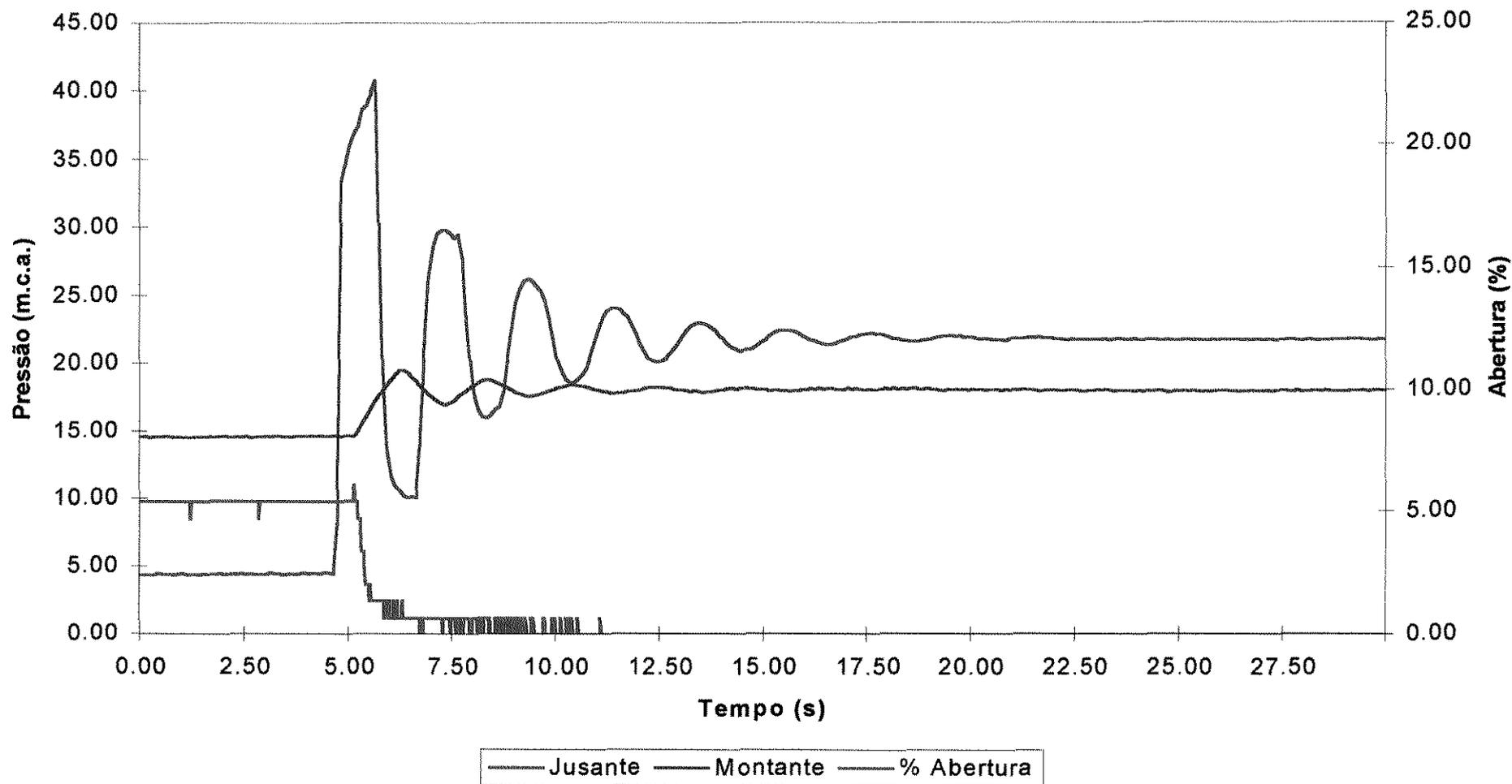
Para cada ensaio foi gerado um arquivo de tempo contra pressão/posição de abertura, variando posicionamentos dos transdutores dentro do sistema e condições de simulação. O resultado final foram 14 gráficos, cujas características são:

- Gráfico 1 – Fechamento rápido de uma válvula esfera situada a 202,60 m da saída da VRP, com os transdutores  $T_1$  instalado a 2,60 m,  $T_2$  a 202,60 m da saída da VRP, respectivamente, e válvula agulha no piloto 15% aberta.
- Gráfico 2 – Start da bomba e abertura de  $V_1$  via computador com os transdutores  $T_1$  instalado a 2,60 m,  $T_2$  a 202,60 m da saída da VRP, respectivamente, e válvula agulha no piloto 15% aberta.
- Gráfico 3 – Start da Bomba e abertura de  $V_1$  via computador, com os transdutores  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21% aberta.
- Gráfico 4 - Start da Bomba e abertura de  $V_1$  via computador, com os transdutores  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21% aberta.
- Gráfico 5 - Start da Bomba e abertura de  $V_1$  via computador, com os transdutores  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21% aberta.
- Gráfico 6 - Start da Bomba e abertura de  $V_1$  via computador, com os transdutores  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 74% aberta.
- Gráfico 7 - Start da Bomba e abertura de  $V_1$  via computador, com os transdutores  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto fechada.
- Gráfico 8 - Start da Bomba e abertura de  $V_1$  via computador, com os transdutores  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto aberta total.
- Gráfico 9 - Fechamento de  $V_3$  em 1 segundo, com  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 15 % aberta.
- Gráfico 10 - Fechamento de  $V_3$  em 1 segundo, com  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 15 % aberta.
- Gráfico 11 - Fechamento de  $V_3$  em 1 segundo, com  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21 % aberta.
- Gráfico 12 - Oscilação na VRP devido a sujeira no filtro do circuito de controle, com  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21 % aberta.
- Gráfico 13 - Abertura de  $V_3$  em 1 segundo, com  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21 % aberta.
- Gráfico 14 - Fechamento em 1 segundo, abertura em 2 segundos e novo fechamento em 1 segundo de  $V_3$ , com  $T_1$  e  $T_2$  na VRP e válvula agulha no piloto 21 % aberta.

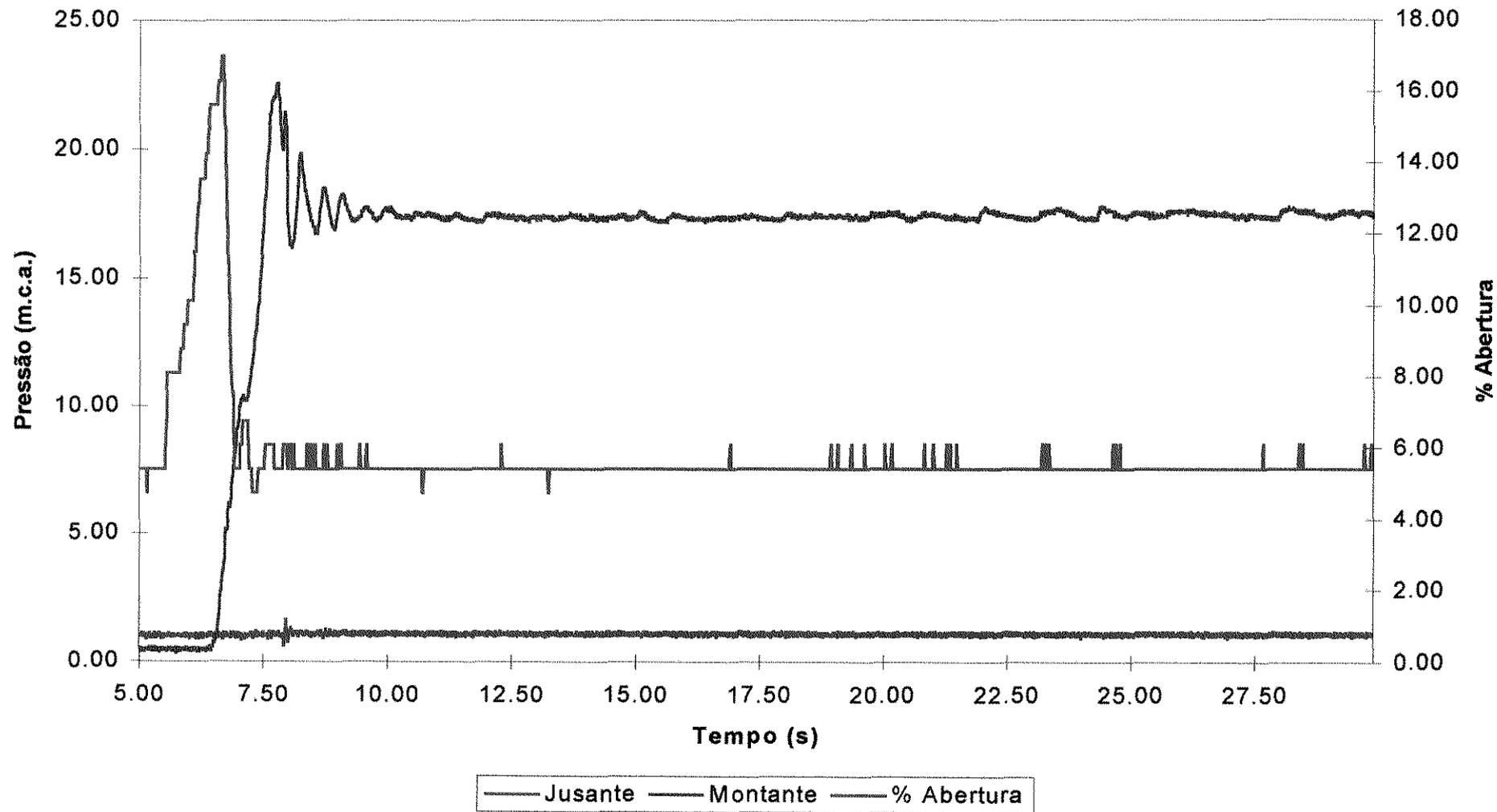
As pequenas aberturas observadas nas diversas medições, se devem ao fato das baixas vazões originadas pela necessidade de utilização de um acréscimo de rede no sistema hidráulico de 200,00 m de tubo PEAD com diâmetro de  $\frac{3}{4}$ ", a fim de se observar o regime transitório gerado com as manobras rápidas.

As diferenças observadas entre o valor de pressão regulado para saída da VCA e o efetivamente medido com os transdutores, se deve ao fato do sistema hidráulico descarregar na atmosfera.

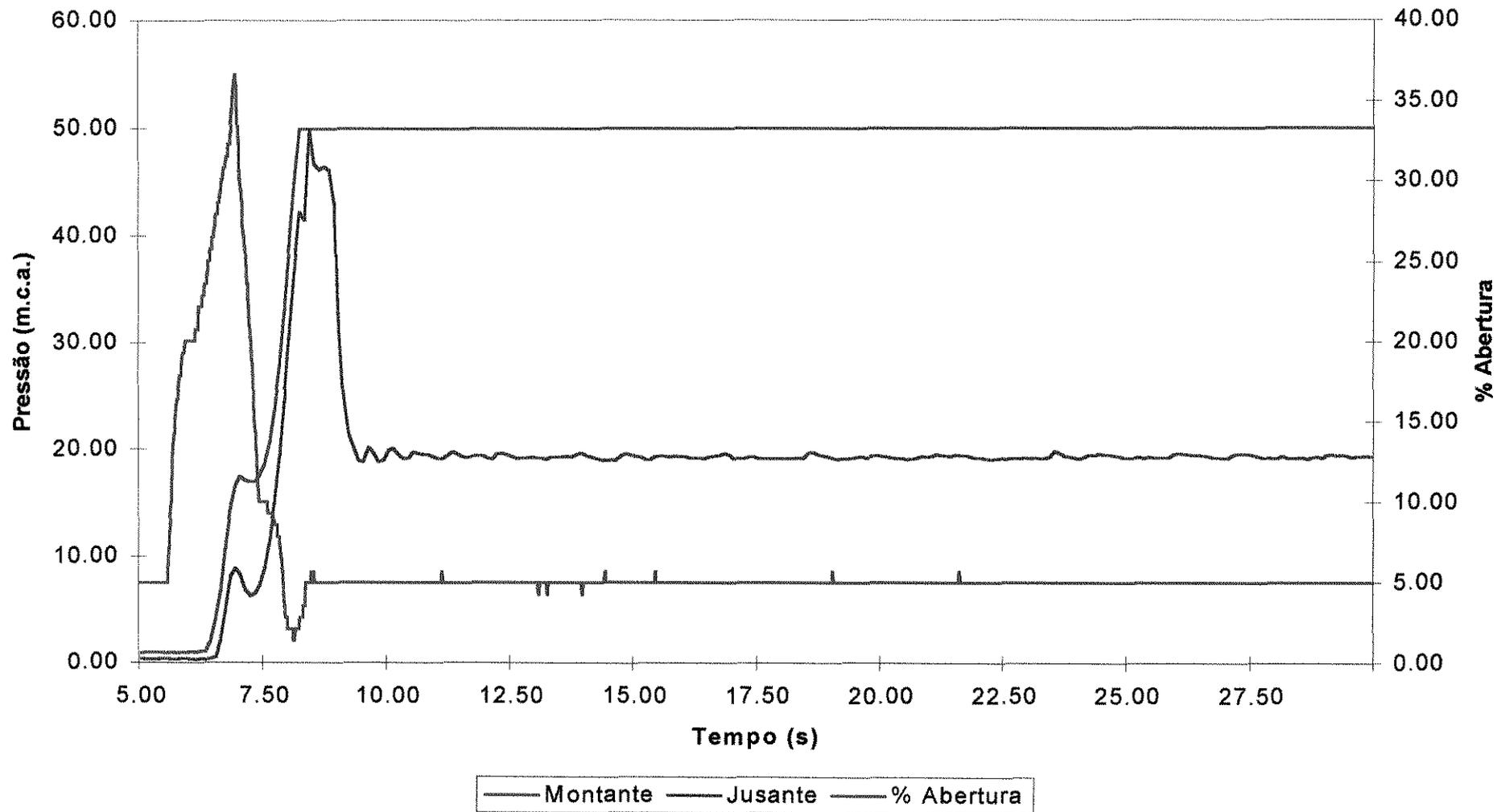
**Gráfico 1 - Celeridade do Tubo PEAD a partir do fechamento de V3 (à 202,60 m da saída da VRP), com T1 à 2,60 m e T2 à 202,60 m da VRP (Pm=80 m.c.a. e Pj=20 m.c.a.)**



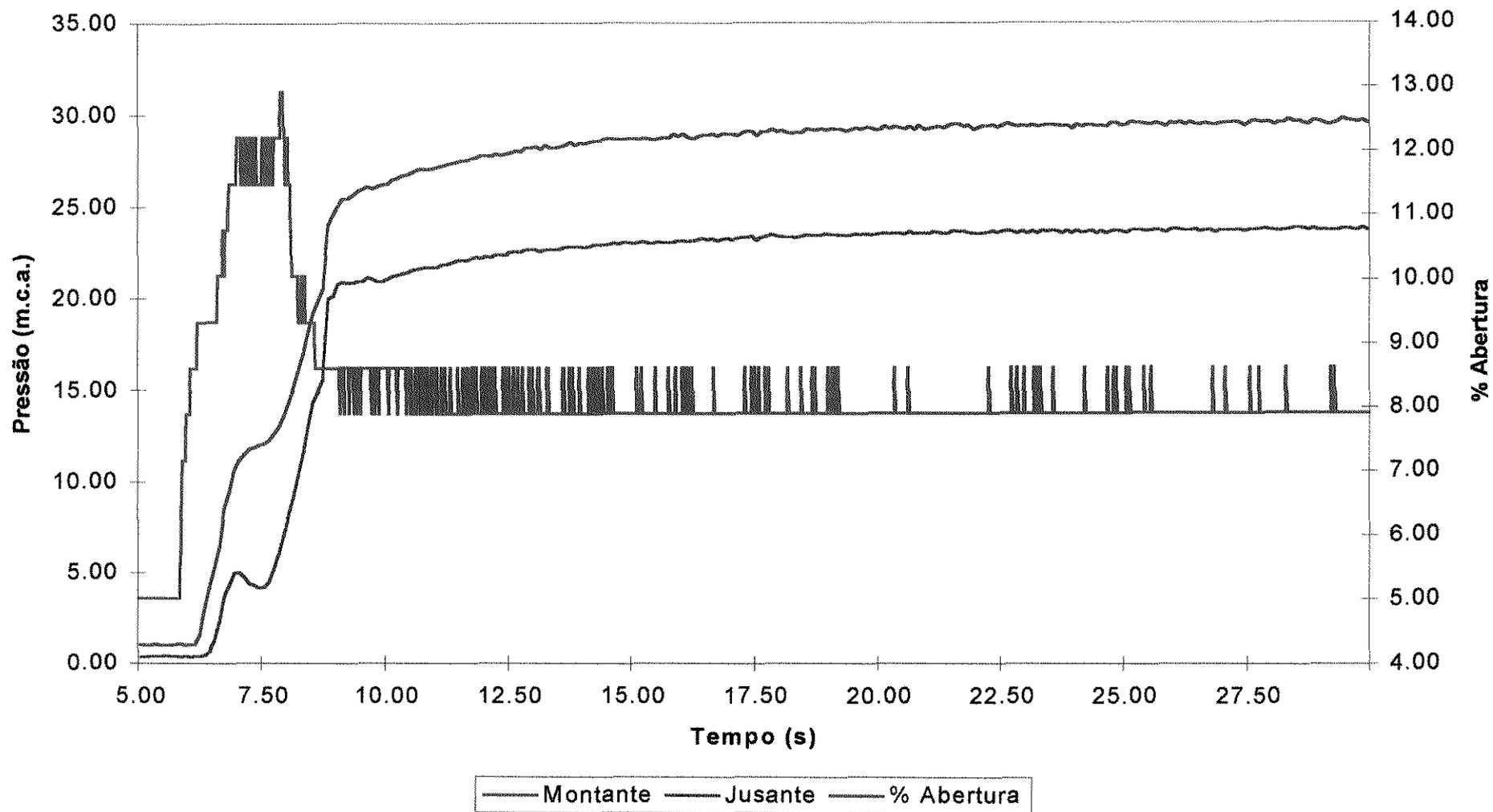
**Gráfico 2 - Abertura de V1 via computador com T1 à 2,60 m, T2 à 202,60 m da saída da VRP (Pm=85 m.c.a. e Pj=25 m.c.a.) e V3 aberta**



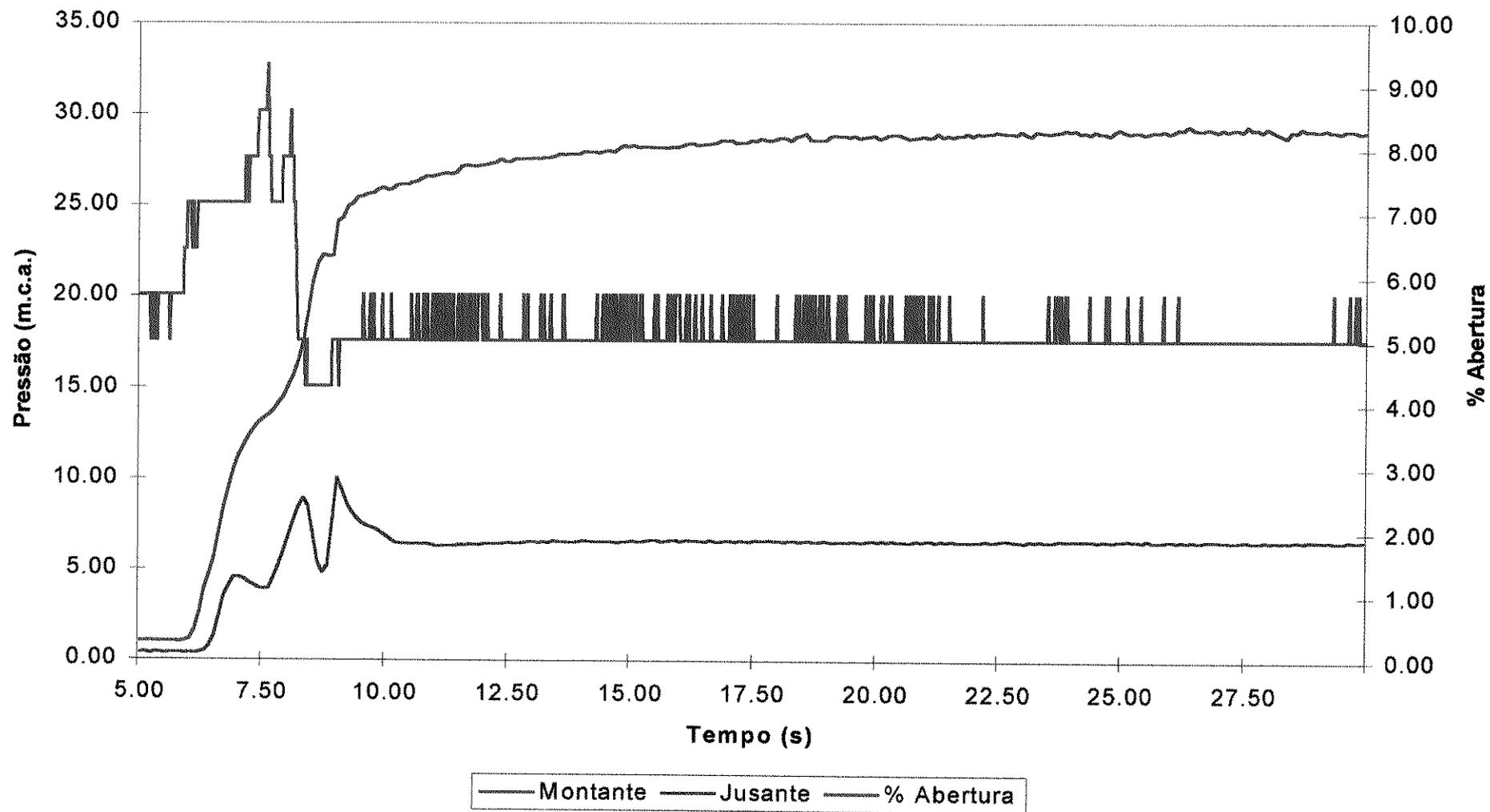
**Gráfico 3 - Start de V1 via computador com T1 (Pm=85 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.)  
na VRP (Aguilha com 2 voltas)**



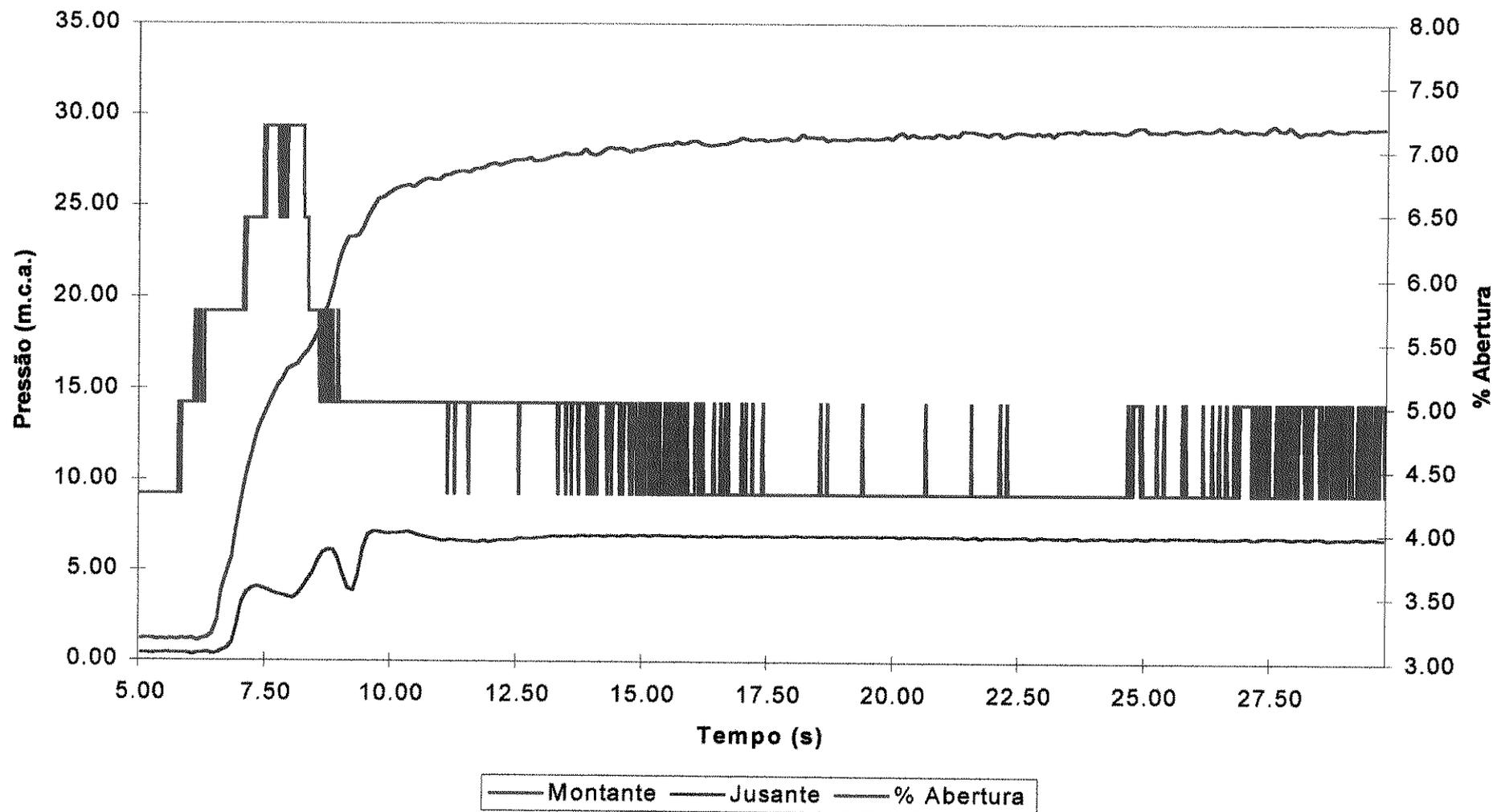
**Gráfico 4 - Start de V1 com T1 (Pm=40 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.) na VRP (Aguilha com 2 voltas)**



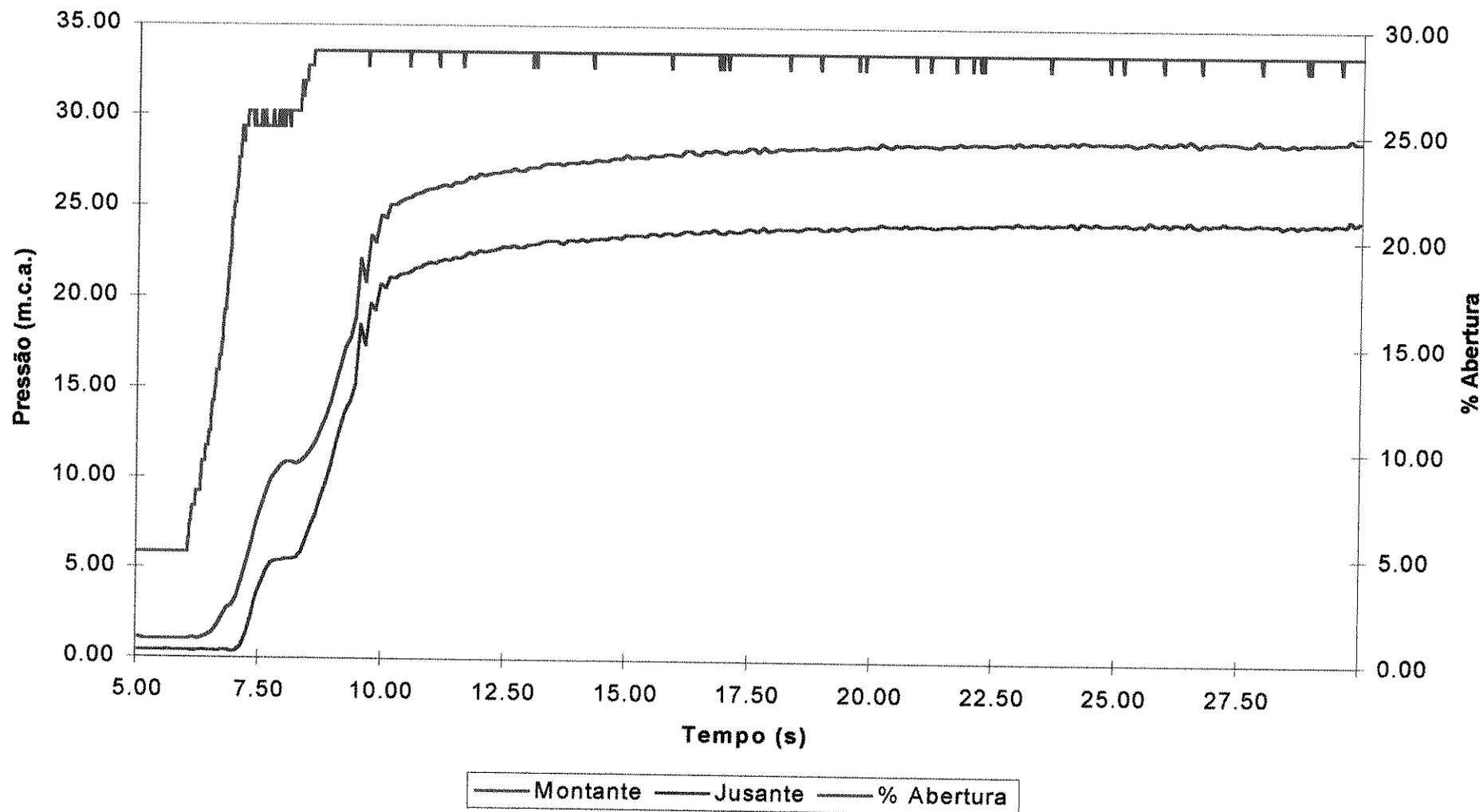
**Gráfico 5 - Start de V1 com T1 (Pm=40 m.c.a.) e T2 (Pj=10 m.c.a.) na VRP (Aguilha com 2 voltas)**



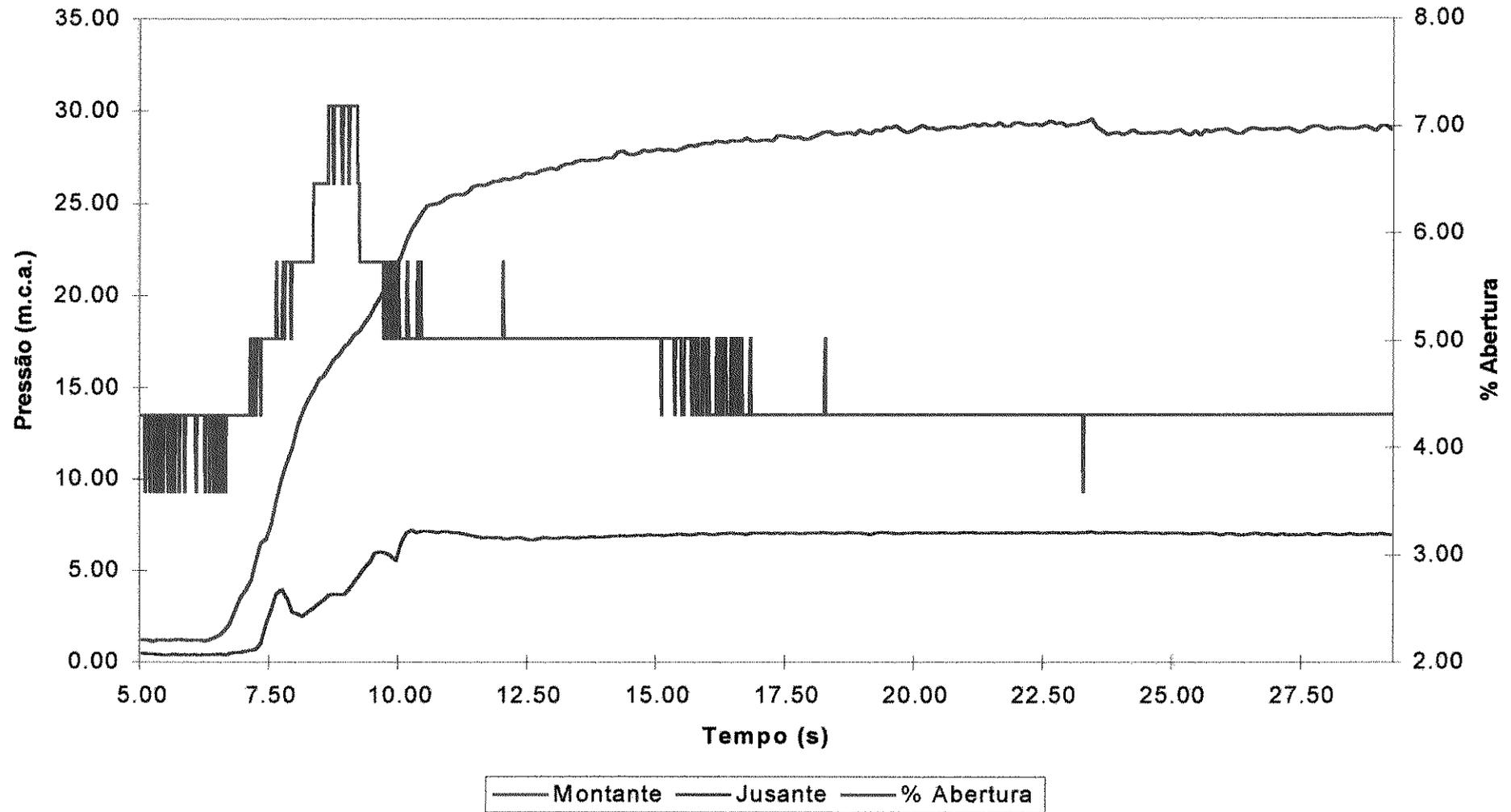
**Gráfico 6 - Start de V1 com T1 (Pm=40 m.c.a.) e T2 (Pj=10 m.c.a.) na VRP (Aguilha com 7 voltas)**



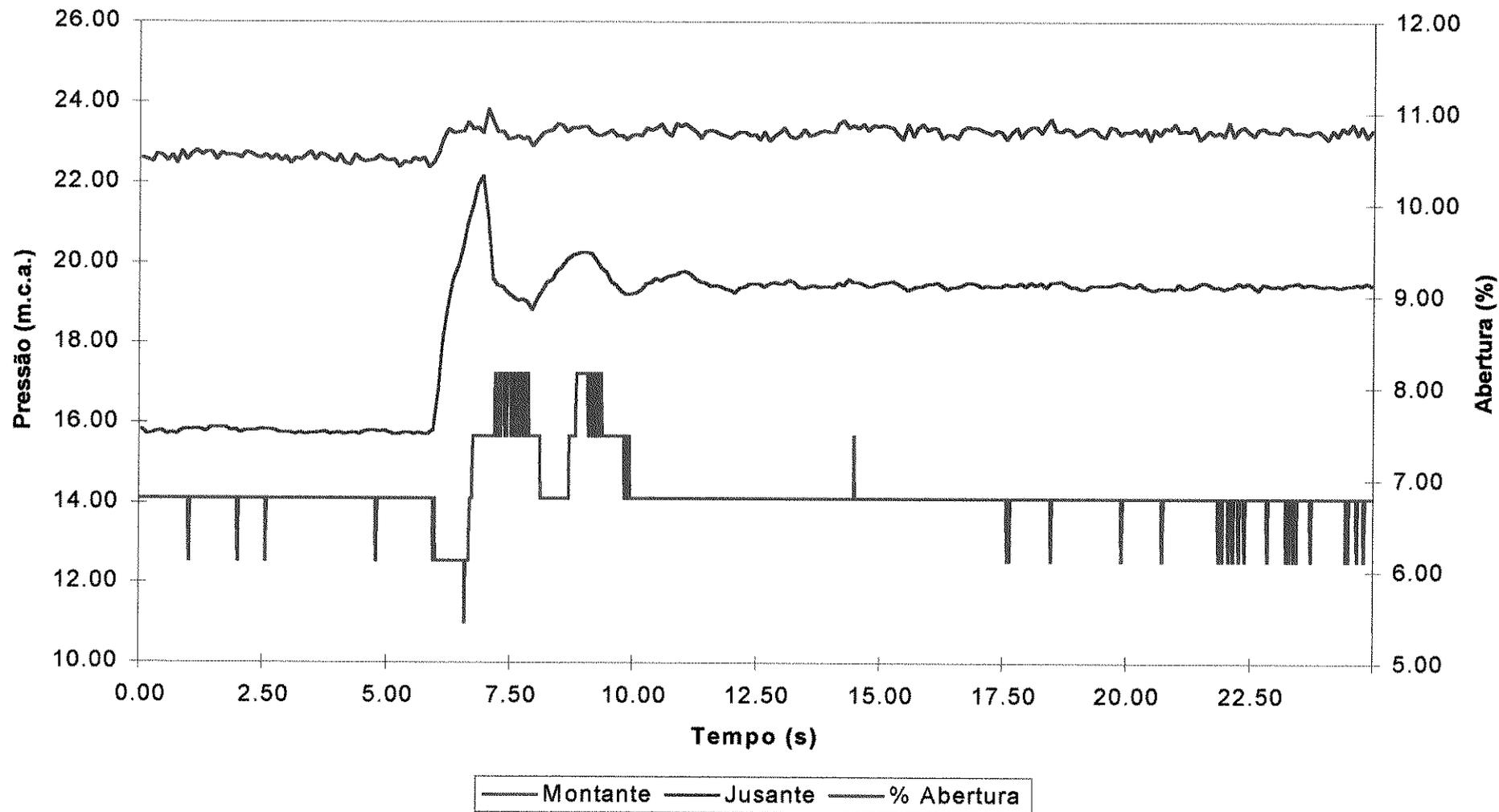
**Gráfico 7 - Start de V1 com T1 (Pm=40 m.c.a.) e T2 (Pj=10 m.c.a.) na VRP (Aguilha Fechada)**



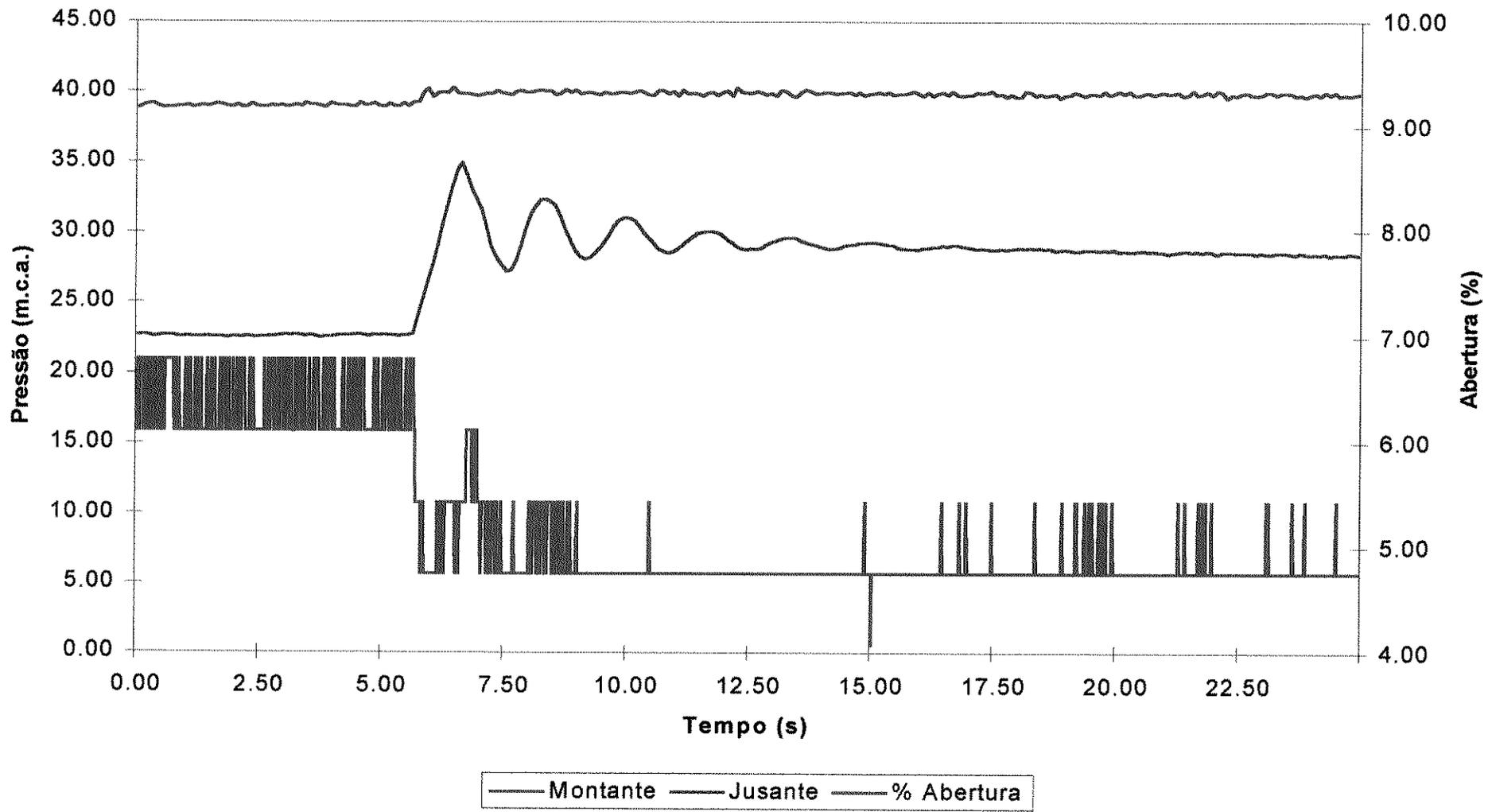
**Gráfico 8 - Start de V1 com T1 (Pm=40 m.c.a.) e T2 (Pj=10 m.c.a.) na VRP (Aguilha aberta total - 9,5 voltas)**



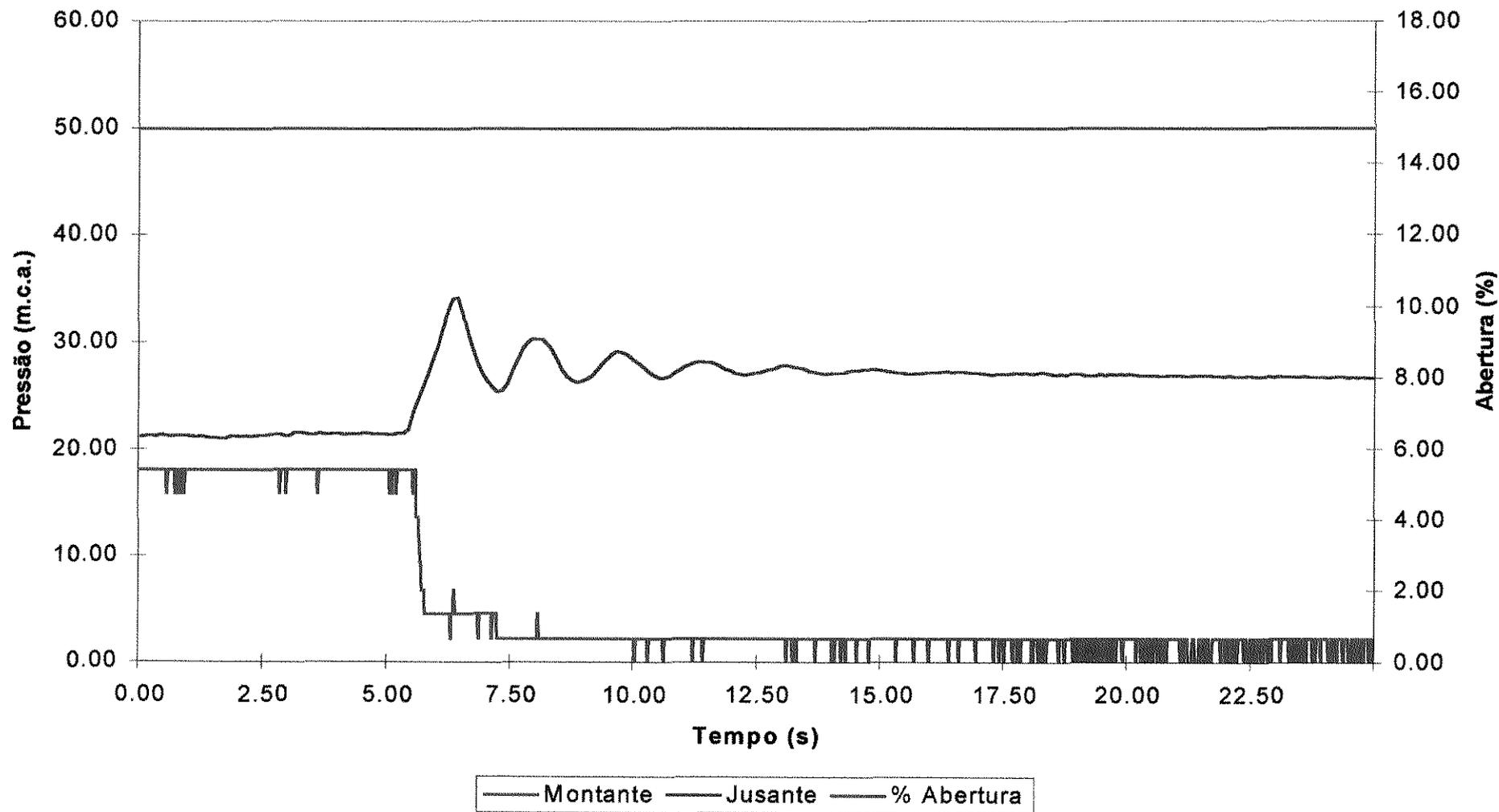
**Gráfico 9 - Fechamento Rápido de V3 em 1 seg., com T1 (Pm=30 m.c.a.) e T2 (Pj=20 m.c.a.) na VRP**



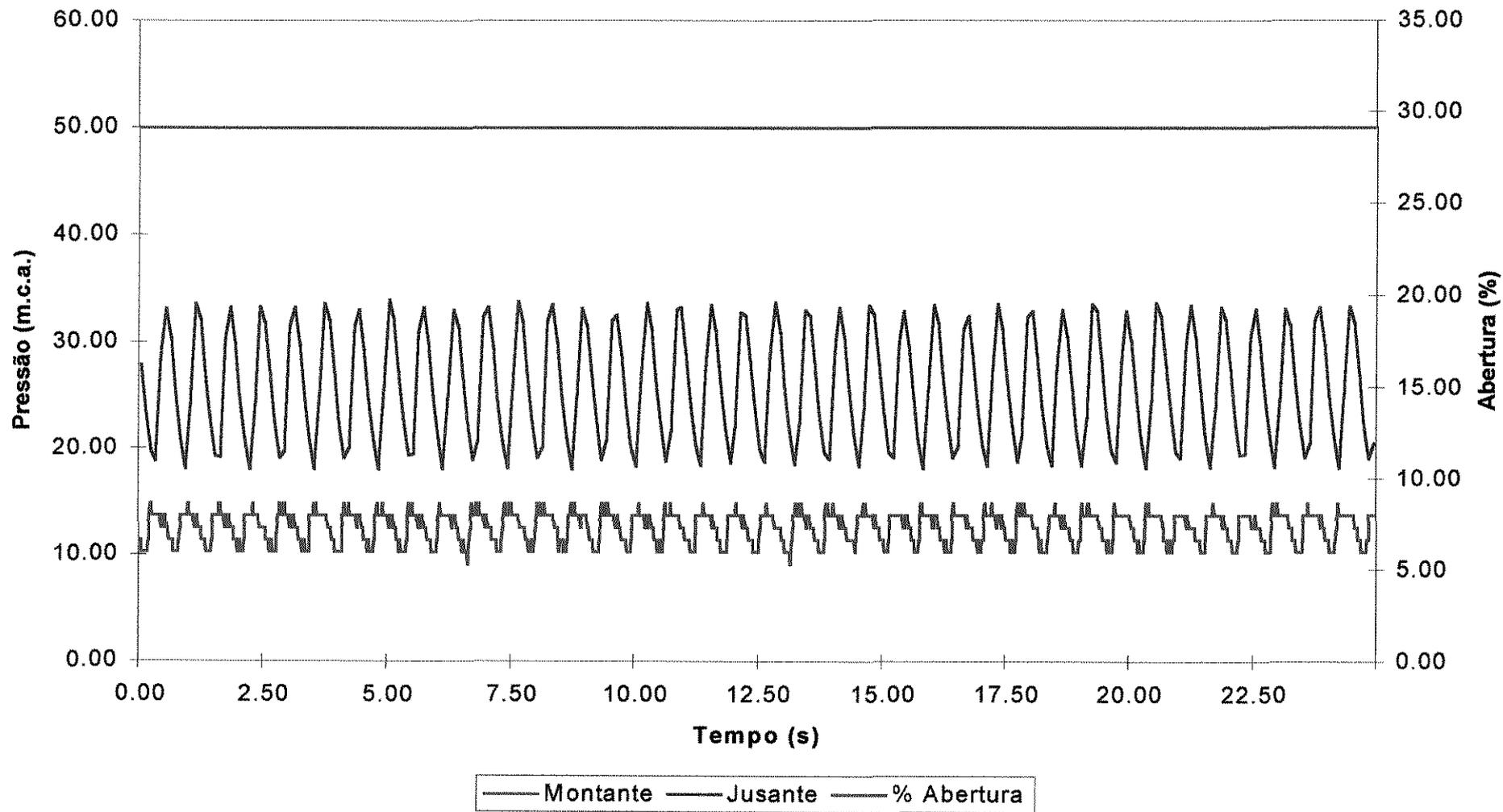
**Gráfico 10 - Fechamento Rápido de V3 em 1 seg., com T1 (Pm=50 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.) na VRP**



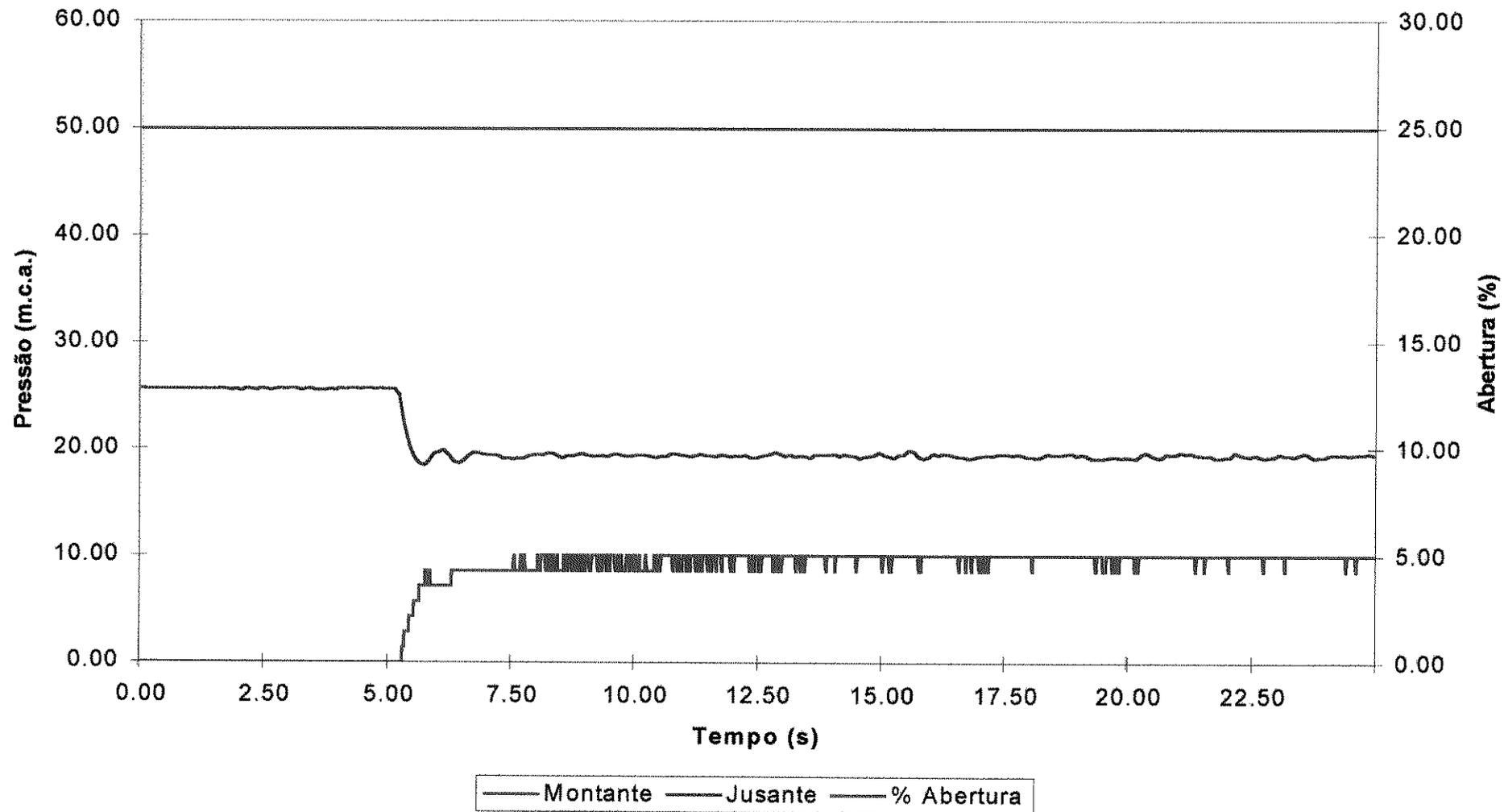
**Gráfico 11 - Fechamento Rápido de V3 em 1 seg., com T1 (Pm=85 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.) na VRP**



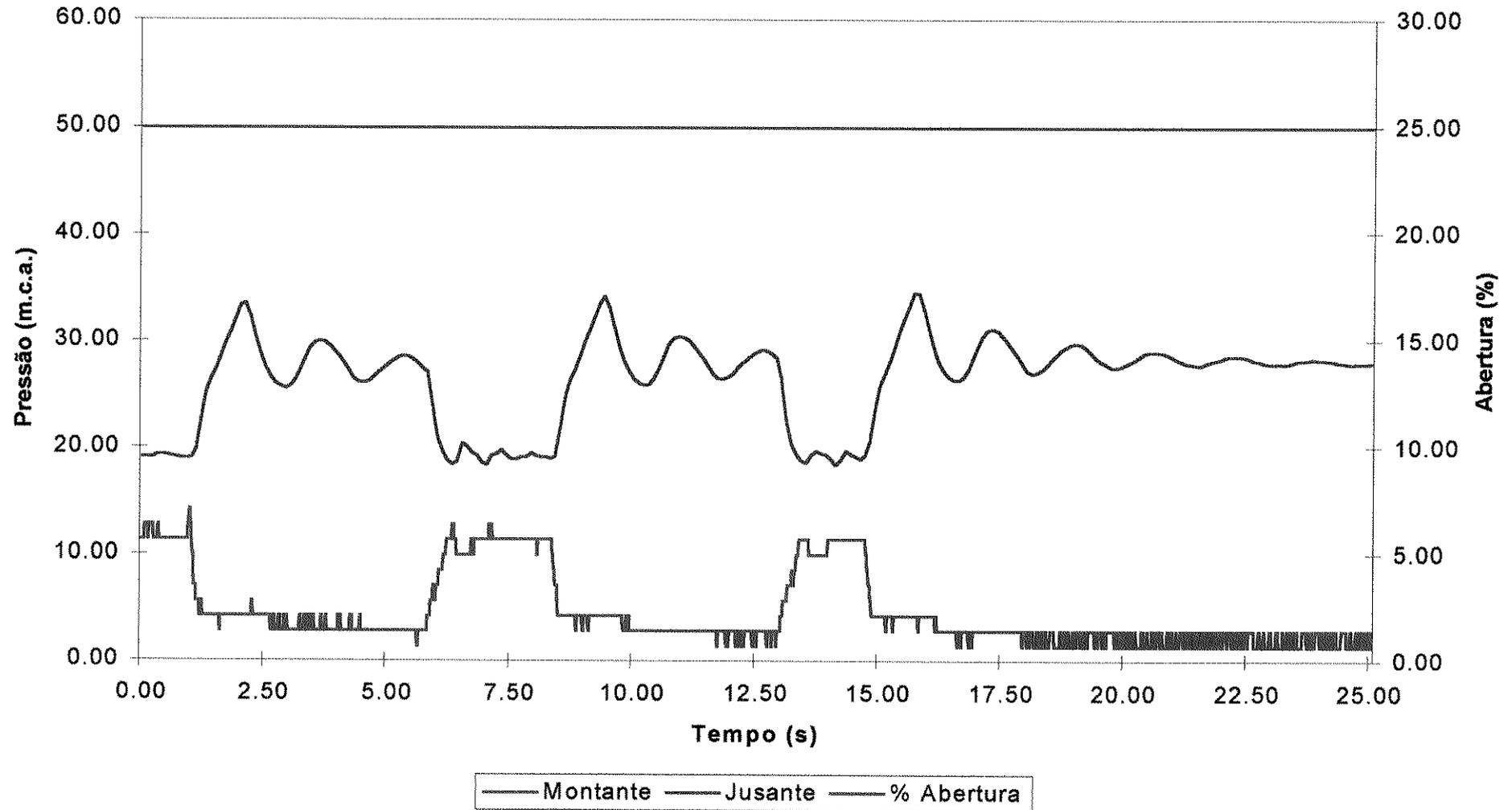
**Gráfico 12 - Oscilação devido a sujeira no Circuito de Controle, com T1 (Pm=85 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.) na VRP**



**Gráfico 13 - Abertura Rápida de V3 com T1 (Pm=85 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.) na VRP**



**Gráfico 14 - Fecha (1seg.), Abre (2seg.) e Fecha (1 seg.) V3, com T1 (Pm=85 m.c.a.) e T2 (Pj=30 m.c.a.) na VRP**



## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 – Resultados Obtidos

Dos resultados obtidos, pode-se observar que a VCA, de um modo geral, correspondeu muito bem às 14 diferentes operações de simulação.

Inicialmente, foi possível verificar o efeito de amortecimento que o tubo PEAD provoca no regime transitório. A celeridade da água verificada no ensaio de fechamento instantâneo de uma válvula foi de 333,33 m/s (gráfico 1).

No ensaio de partida da bomba, nota-se claramente a influência da regulagem da válvula agulha no tempo de resposta da VCA (gráficos 2 ao 8). Com 21% de abertura da agulha da válvula piloto (2 voltas), verificam-se picos de pressão à jusante da VCA com valores máximos de até 67% acima da regulagem de saída (gráfico 3), prontamente corrigidos com um tempo de resposta em torno de 3 segundos.

Com a agulha totalmente fechada (gráfico 7), a conexão de montante com a câmara atuadora da VCA fica fechada e assim não há como se atingir o ajuste desejado feito na válvula piloto. Desta forma, a VCA se abre permitindo que os níveis da pressão à jusante atinja valores superiores ao da regulagem de saída.

Nos gráficos 5 e 6, com a variação da regulagem da agulha da válvula piloto, 21% e 73% de abertura respectivamente (2 e 7 voltas), torna-se bastante clara a sua influência no tempo de resposta. Neste caso os picos de pressão já não são demasiadamente acentuados.

Já com a válvula agulha totalmente aberta (gráfico 8), no caso específico deste ensaio, resposta é rápida e a modulação é bem suave, com aberturas em torno de 3 à 7%.

No fechamento rápido de  $V_3$ , situado à 202,60 m da saída da VCA (gráficos 9 e 10), sua resposta é rápida (aproximadamente 5 segundos), porém há picos de pressão além do desejado transmitido para jusante. Novamente, com movimentos pequenos e suaves (de 6 à 8% de abertura), a VCA busca o ajuste desejado, chegando a pressão de regulagem em cerca de 6 segundos.

O gráfico 12 em particular, mostra a oscilação contínua da VCA buscando seu ponto de regulagem devido à sujeira no filtro “y” do circuito de controle. Muito embora se note a tentativa de ajuste, verificada nos dados de posição de abertura da válvula, o mesmo não acontece. Cabe aqui salientar, a importância de filtros no circuito de controle e também no barrilete da linha principal, bem como, a limpeza e manutenção periódicas em toda estrutura de controle.

Conforme Koelle (1992), também pode ser induzido fluxo oscilatório se o controlador não é adequadamente dimensionado. Nesses casos específicos, a VCA poderia passar a ser um agente excitador de todo sistema hidráulico, gerando transitórios.

O presente trabalho procurou mostrar ser inegável a importância de uma VCA dentro de um sistema hidráulico como elemento de controle auxiliar; podendo-se dizer também que, após este estudo, ficou evidente que cuidados devem ser tomados, desde o seu correto dimensionamento com projetos até as manutenções periódicas do equipamento.

Como sugestão para futuras pesquisas, propõe-se desenvolver um estudo no qual a VCA seria utilizada dentro de um sistema hidráulico de distribuição de água como um

otimizador, buscando-se os melhores pontos de atuação de forma a manter o sistema sempre abastecido, variando sua operação em função da sazonalidade.

## 7. ANEXOS

### 7.1 – Transdutores de Pressão

#### 7.1.1 – Características Gerais

Marca.....	: Sodemex
Modelo.....	: HMI-2300
Escala de Medição Nominal (E.M.).....	: 0 a 0,5 MPa
Sobrecargas Admissíveis.....	: Sem alteração = 1,5 vezes a E.M. Sem ruptura = 3 vezes a E.M.
Faixas de Temperatura.....	: Utilização = -20 a +80 °C Compensada = +20 a +70 °C
Tensão de Alimentação.....	: 10 Vcc ou Vca (12 V máxima)
Impedâncias de Entrada e Saída.....	: 350 ohms nominais

Sinal de Início de Escala.....Zero: +/- 2% Sinal de Fundo de Escala (SFE)

Sinal de Fundo de Escala.....SFE: 2 mV/V nominal

Isolamento.....: 2000 Mohms (sob 15 Vcc)

Resolução.....: Infinita

### 7.1.2 – Construção

Sensor/Corpo.....: Aço Inoxidável ASTM-A564 (17-4-PH)

Invólucro.....: Aço Inoxidável AISI 304 – Prot. IP-62

Conexão Elétrica.....: 3 m de cabo blindado 4 condutores

Conexão Hidráulica.....: Rosca  $\phi$  ¼” BSP

### 7.1.3 – Curva de Calibração

Para calibração dos transdutores de pressão, foi utilizada uma balança de peso morto onde se aplicaram pressões conhecidas que geraram respostas em volts.

A partir desses dados foi possível, com o lançamento em gráfico, obter a reta dos mínimos quadrados (gráficos 15 e 16), com coeficientes de correlação de 0,99890 (transdutor T<sub>1</sub>) e 0,99950 (transdutor T<sub>2</sub>).

Gráfico 15 - Curva de Calibração do Transdutor (T1 - 0 à 50 m.c.a. - Canal 2)

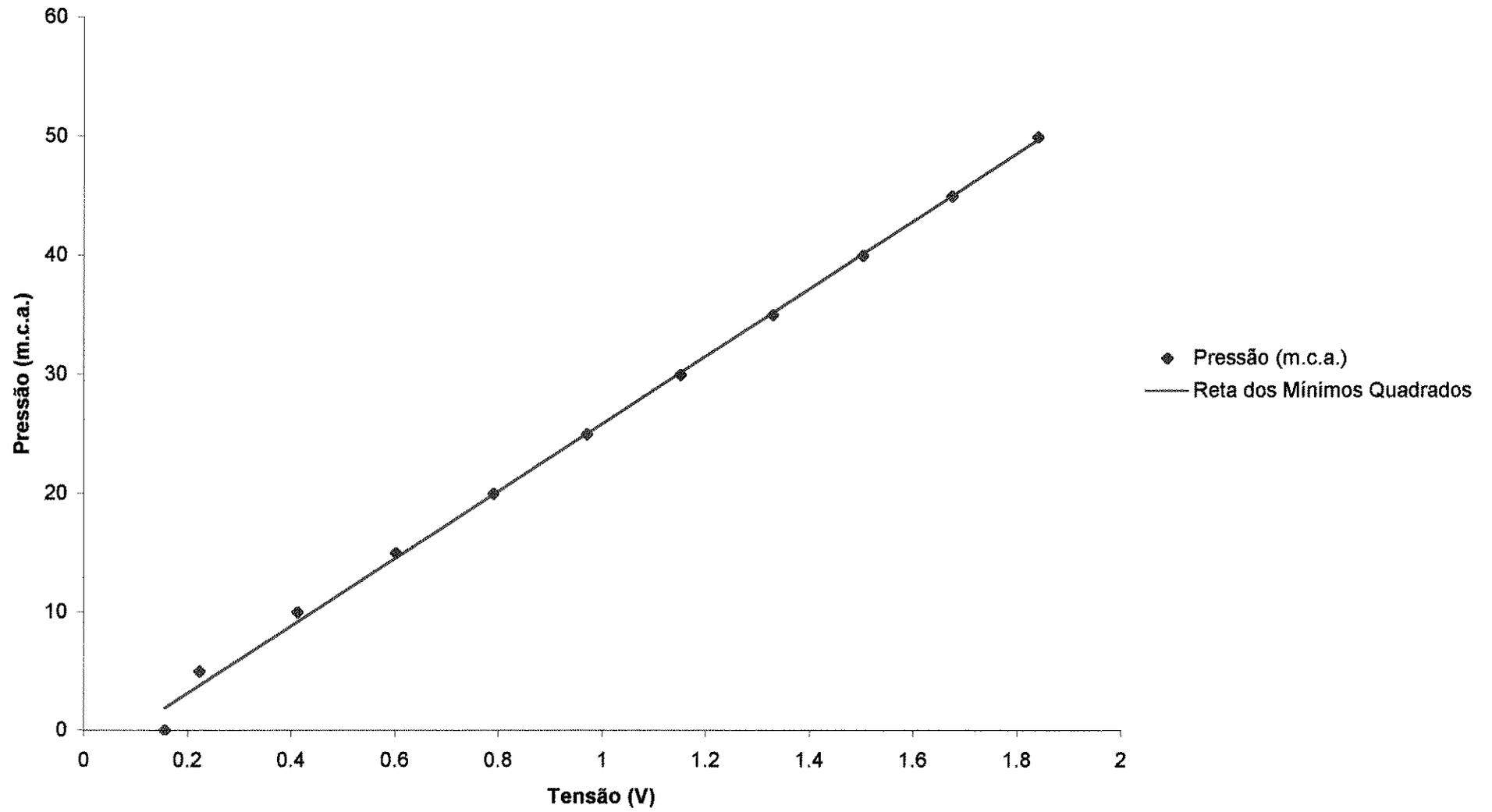
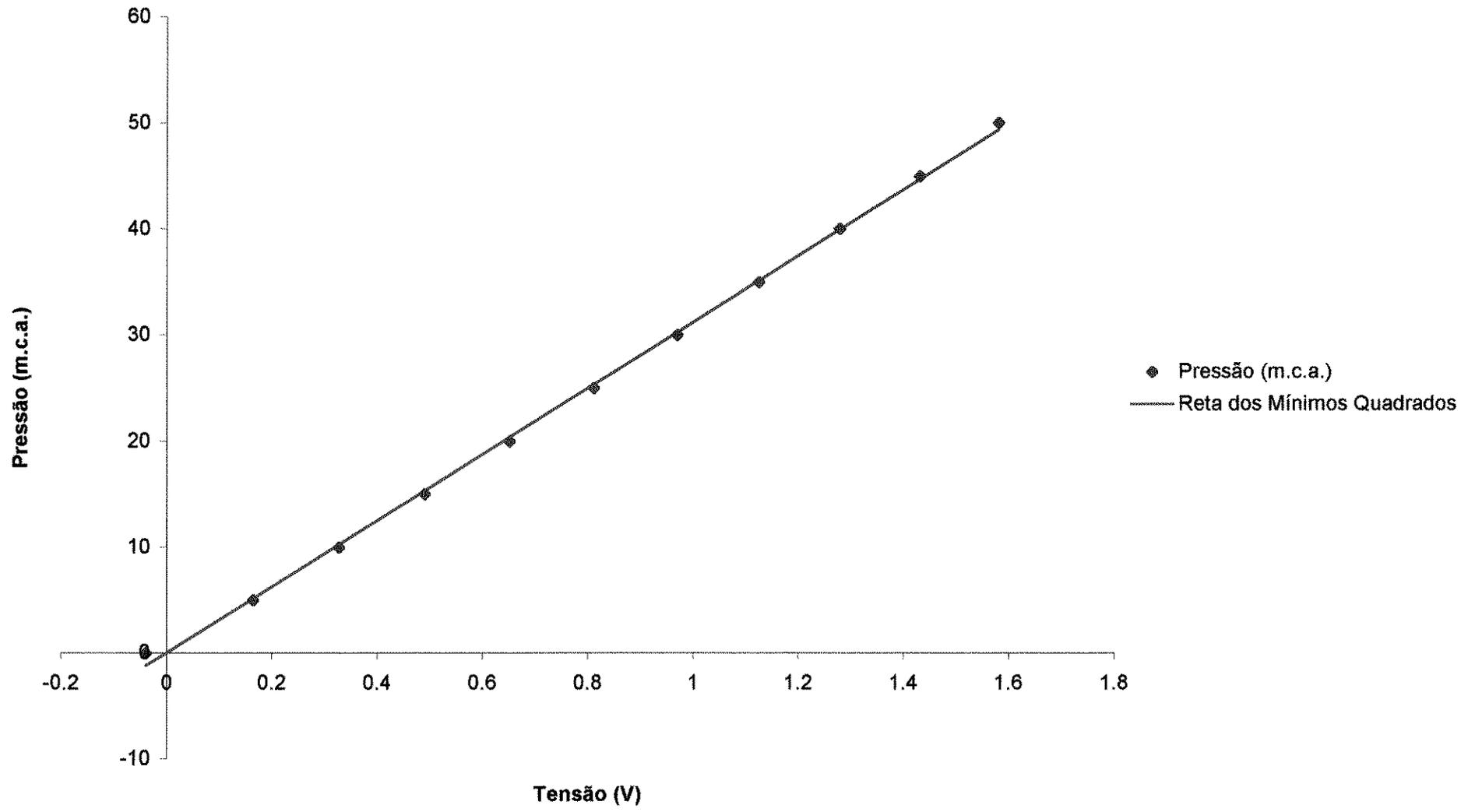


Gráfico 16 - Curva de Calibração do Transdutor (T2 - 0 à 50 m.c.a. - Canal 3)



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Abreu, J., Cabrera, E., Garcia-Serra, E., Lopez, P. A.,** Optimal Closure of a Valve for Minimizing Water Hammer, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996.

**Andrade, José G. P. de,** Análise e Otimização da Operação de Usinas Hidrelétricas, Tese apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Livre Docente na Área de Mecânica dos Fluidos, Campinas, 1994.

**Bailey Control Valves,** Manufacturers Catalog, Chas. M. Bailey Co., Inc., California, USA.

**Bermad Control Valves,** Manufacturers Catalog, Evron, Israel, 1995.

**Bermad Control Valves,** Bermad Interactive Catalog – Version 2.1, Evron, Israel, 1998.

**Boletin de Ingenieria,** Valvulas de Control de la Serie 700, Evron, Israel, 1987.

**Bulletin 101-2** , Ross Valve Manufacturing Co., Manufacturers Catalog, New York, USA.

**Bulletin nº W-3-C**, Manufacturers Catalog of Golden Anderson Valve Specialty Company, Pittsburgh, USA.

**Chaudhry, M. H.**, Applied Hydraulic Transient, second edition, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1987.

**Cigada, A., Guadagnini, A., Orsi, E.**, Instabilities in a Flow-Control Valve, Politecnico di Milano, Milano, Italy.

**Cla-Val – Pressure Reducing Valve**, Manufacturers Catalog of Cla-Val Co., Canada, 1992.

**Clayton Automatic Valves**, Manufacturers Catalog, Newport Beach, California, USA.

**Control and Metering Valves (Ordering Guide)** - Manufacturers Catalog, Evron, Israel, 1995.

**Dorot – Automatic Control Valves**, Manufacturers Catalog – Series 300, Israel.

**Dorot - Válvulas de Comando**, Catálogo do Fabricante – Série 200, Israel, 1995.

**Dorot - Válvulas de Controle Automáticas**, Catálogo do Fabricante, Israel, 1995.

**Fox, W. R., McDonald, A. T.**, Introdução à Mecânica dos Fluidos, 3a. Edição, Ed. Guanabara Dois, 1988.

**Koelle, E.**, Apostila de Notas de Aula do Curso IC - 720, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

**Koelle, E.**, Control valves inducing oscillatory flow in hydraulic networks, Balkema, Rotterdam, 1992.

**Koelle, E., Luvizotto Jr., E., Andrade, J. G. P. de,** Personality investigation of hydraulic networks using the MOC - Method of Characteristics, BHR Group, 1996.

**Koelle, E., Luvizotto Jr.,** The analytic representation of the characteristics of hydraulic machines for computer simulations, Balkema, Rotterdam, 1992.

**Lauria, J. C.,** Investigação da Resposta Transitória de Válvulas Automáticas de Controle em Instalações Hidráulicas, Exame de Qualificação ao Doutorado apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

**Luvizotto Jr., E.,** Controle Operacional de Redes de Abastecimento de Água Auxiliado por Computador, Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia, São Paulo, 1995.

**Mateos, C., Pérez-Andujar, T., Andreu, M., Cabrera, E.,** Self-Excited Hydraulic Oscillations Due to Unstable Valve Behaviour. A Case Study, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996.

**Muesco-Baker Automatic Valves,** Manufacturers Catalog nº 741-W, California, USA, 1980.

**OCV Control Valves,** Manufacturers Catalog of OCV, Oklahoma, USA.

**Poll, H. G.,** Comportamento Dinâmico de Válvulas de Controle em Redes Hidráulicas, Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, São Paulo, 1993.

**Reis, L. F. R., Porto, R. M., Chaudhry F. H.,** Optimal Location of Control Valves in Pipe Networks by Genetic Algorithm, Journal of Water Resources Planning and Management, 1997.

**Ross Valve Manufacturing Co.,** Manufacturers Catalog, New York, USA.

**SOCLA – Automatic Control Valves, Manufacturers Catalog of Danfoss, France, 1996.**

**Singer Automatic Control Valves, Manufacturers Catalog, Canada, 1996.**

**Tullis, J. P., Cavitação em Sistemas Hidráulicos, Intercâmbio Internacional sobre Transientes Hidráulicos e Cavitação, São Paulo, 1982.**

**Valloy - Válvulas de Controle Automáticas, Catálogo do Fabricante, São Paulo, Brasil.**

**Válvulas de Controle Série 700, Companhia Metalúrgica Barbará (Catálogo do Fabricante), Brasil, 1995.**

**Watts – Automatic Control Valves, Manufacturers Catalog, Texas, USA, 1993.**

**Wyllie, E. B., Streeter, V. L., Fluid Transients, McGraw Hill Book Co., New York, 1978.**

**Yukio, K., Yukihito, S., Takahiro, S., Water hammer suppression methods in water distribution systems in a hilly city, Balkema, Rotterdam, 1992.**