

# Controle de Fluxo Através de Válvulas Manuais e Automáticas

Por: Artur Cardozo Mathias

O controle do fluxo nos processos industriais normalmente é feito através de válvulas que podem ser tanto de acionamento manual ou automático, depende da precisão exigida para esse controle.

## 1 – Introdução

O objetivo deste artigo é mostrar, ao usuário de válvulas na indústria, os principais tipos encontrados, além de algumas diferenças, para aplicações de controle de fluxo dentro de um processo seja ele químico, farmacêutico, petroquímico, papel e celulose, siderúrgico, sucroalcooleiro, etc., pois sempre existem situações na qual o controle do fluido é necessário para a conclusão do produto final. Esse controle pode ser feito sobre a grandeza de alguma variável, tais como, a pressão, a temperatura, a vazão, o pH, o volume, o nível, etc. num determinado fluido para que o produto final seja alcançado nas condições de qualidade desejadas.

Este controle pode ser tanto para aplicações que envolvem temperatura ambiente, aplicações criogênicas ou para aquelas com elevadas pressões e temperaturas. Ele deve ser feito através de uma válvula corretamente dimensionada e selecionada para cada aplicação em particular, para que não fiquem elevados os custos com sua instalação e manutenção. Sendo assim, em princípio, a correta seleção de uma válvula depende especificamente da aplicação e de acordo com as reais necessidades do processo.

Aqui são explicados também alguns termos, de forma resumida, e que devem ser conhecidos pelos usuários, quando as válvulas são selecionadas para aplicações de controle de fluxo, nos quais elas devem impor uma determinada queda de pressão ao processo. Estes termos são: CV, pressão diferencial (queda de pressão), redução de pressão, característica de vazão, alcance de faixa, falha segura, banda morta, histerese, cavitação, flashing, fluxo crítico, fluxo subcrítico e vazão bloqueada.

Se uma válvula opera a maior parte do tempo na posição aberta, pode ser selecionada uma válvula com baixo pico de perda de pressão, minimizando a dissipação de energia, isto irá resultar numa válvula menor e com menor custo para a instalação e manutenção. Se for necessária uma válvula de controle, a faixa de coeficientes de vazão (CV) para as diferentes posições de abertura da válvula, deve se ajustar aos requerimentos da aplicação. Desta forma uma determinada aplicação pode requerer uma válvula com baixa queda de pressão (por exemplo, para controle *on-off*), ou uma válvula que proporcione uma alta queda de pressão (controle modulante), além de outros detalhes, como por exemplo, materiais de construção para o corpo, castelo, componentes internos e superfícies de vedação, normas de construção, classes de pressão, tipo de acionamento, etc. Quanto maior for o requerimento para o bom desempenho da válvula, maiores também serão os custos com a compra, instalação e manutenção. Na escolha de uma válvula para a aplicação desejada deve sempre ser encontrado um equilíbrio entre desempenho e custo. No mercado de válvulas existem diferentes tipos, algumas podendo ser específicas para cada aplicação. Algumas destas válvulas são limitadas pela pressão e/ou temperatura e outras pela viscosidade ou abrasividade do fluido. Os fluidos podem ser apenas líquidos, apenas gases, líquidos com gases, líquidos com sólidos, gases com sólidos, vapor *flashing* (fluxo bifásico devido ao decréscimo da pressão de um líquido), além de fluidos corrosivos ou não corrosivos e fluidos erosivos e não erosivos.

As principais válvulas utilizadas para controle de fluxo, seja controle on-off ou modulante são:

**Controle on-off:** gaveta, esfera, borboleta, macho, diafragma, mangote, guilhotina.

**Controle modulante:** globo, esfera, borboleta, macho, diafragma, mangote, guilhotina. Como pode ser visto, a válvula gaveta é a única que não deve ser utilizada para **controle modulante\***.

**Nota\*:** as válvulas gaveta são utilizadas como bloqueio de linhas de vapor (ou controle manual em bitolas acima de 6”) na qual a utilização de válvulas do tipo globo não proporciona um resultado satisfatório. Nessas aplicações é recomendado que a válvula seja uma bitola menor que a tubulação a qual ela será instalada. Esse controle é possível em aberturas até aproximadamente 50% para líquidos e 70% para vapores e gases. Toda válvula gaveta operando sob condições de abertura parcial, requer maiores intervenções quanto a sua manutenção.

## 2 – Características principais

Algumas características devem ser consideradas na seleção da válvula mais adequada para uma determinada aplicação e de acordo com o fluido envolvido: tipo da válvula, materiais de construção do corpo, castelo e componentes internos, material para juntas e gaxetas, além da classe de pressão de acordo com a pressão e temperatura do processo.

As principais características de algumas válvulas utilizadas nas indústrias seja para controle on-off ou modulante são:

**Gaveta:** baixa queda de pressão quando totalmente aberta; abertura e fechamento lentos; movimento linear; adequada somente para água, vapor e outros fluidos limpos; não são adequadas para fluidos contendo sólidos em suspensão ou fluidos densos (lamas) ou que possam cristalizar; são bidirecionais quanto ao sentido de fluxo. São válvulas de alta recuperação de pressão o que lhe proporciona baixa capacidade de controle. O controle de fluxo pode causar desgastes no anel sede e face de vedação da cunha a jusante e guias do corpo e da cunha, devido à parte traseira da cunha ficar exposta ao vácuo gerado pelo fluido em escoamento, além de provocar excessivo ruído e vibração. A velocidade de escoamento tende a aumentar os efeitos erosivos, principalmente quando a cunha ou gaveta se encontra controlando o fluxo próximo da posição fechada. Isto impede que a válvula mantenha a estanqueidade quando for solicitada pelo processo.



A figura ao lado mostra uma válvula gaveta de haste ascendente e rosca externa:

A capacidade de vedação dessas válvulas aumenta com o aumento da pressão diferencial. Podem ser construídas em bitolas de até 84” na classe 150 ou acima, depende do fabricante. A haste pode ser fixa (não ascendente) ou ascendente, para esta última deve ser previsto espaço acima da válvula para permitir sua abertura completa. Esta característica também lhe permite uma visualização rápida da posição da válvula, se aberta ou fechada, além de impedir o contato da rosca com o fluido, caso este seja corrosivo. Pode ser construída com

diversos tipos de obturadores (cunha sólida, flexível, bipartida ou gaveta paralela), além de diversos materiais, bitolas e classes de pressão. As conexões podem ser rosqueadas, flangeadas (FF, RF ou RTJ), para solda de encaixe ou de topo. O castelo pode ser rosqueado, flangeado, *pressure seal*, entre outros. O acionamento pode ser através de volante manual, redutor de engrenagens, atuador elétrico ou hidráulico.



**Globo:** são válvulas utilizadas para controle e bloqueio de fluxo. Para controle elas devem ser utilizadas para aplicações até 20% de pressão diferencial ou 150 psi, o que for menor. Podem ser construídas com diversos tipos de obturadores (com ou sem pino guia) e com sedes metálicas ou resilientes, além de diversos materiais para o corpo, castelo e componentes internos, para aplicações corrosivas ou não corrosivas, são unidirecionais quanto ao sentido de fluxo.

A figura ao lado mostra uma válvula globo tradicional (tipo reta):

Proporcionam maior desgaste nas gaxetas mesmo com menor curso de abertura e fechamento que uma válvula gaveta e na mesma bitola.

No estilo reta (convencional) o fluxo muda de direção duas vezes por 90°, impondo uma alta queda de pressão mesmo estando completamente aberta. No estilo “Y” a queda de pressão é bem menor, devido a geometria da área de passagem para o fluxo ser praticamente retilínea. Devem ser aplicadas para os mesmos tipos de fluidos que as válvulas do tipo gaveta, porém, são limitadas à bitola de 16” na classe 150, tendo esta bitola reduzida com o aumento da classe de pressão. A vedação nas válvulas do tipo globo tende a reduzir com o aumento da pressão diferencial. As conexões, os tipos de castelo e os materiais de construção são os mesmos utilizados para as válvulas do tipo gaveta.

**Globo (Gaiola):** a gaiola é o principal componente deste tipo de válvula, sendo utilizada praticamente apenas nas válvulas de controle automáticas. Ela é uma bucha cilíndrica podendo ou não ter aberturas especificamente caracterizada para o escoamento do fluxo. O perfil formado entre estas aberturas e o curso do obturador define a característica de vazão e o CV nominal da válvula.

Uma outra função para a gaiola é apertar o anel sede contra o corpo da válvula, através do aperto recebido pelos estojos e porcas existentes entre o corpo e o castelo, sendo que aquele anel não é rosqueado ao corpo como ocorre em outros tipos de válvulas. São fabricadas em bitolas até 16” nas classes 150 a 2500. São bidirecionais quanto ao sentido de fluxo, pois podem ser balanceadas ou não balanceadas, depende da aplicação e tipo de fluido. Na versão balanceada pode ser utilizado um atuador menor.

**Esfera:** esse tipo de válvula pode ser utilizada para controle on-off ou modulante; construída com sedes metálicas ou resiliente; aceita revestimentos internos anticorrosivos; construída em diversos materiais, bitolas e classes de pressão; aplicada em diversos tipos de fluidos tais como água, vapor, lamas, além de fluidos corrosivos com ou sem sólidos em suspensão. A capacidade de vedação também aumenta com o aumento da pressão diferencial ( $\Delta P$ ) através da válvula.



A figura ao lado mostra uma válvula esfera estilo flutuante:

A pressão e a temperatura são limitadas pelo material das sedes quando construídas em termoplásticos. A válvula pode ser construída no projeto à prova de fogo (*fire safe*). O acionamento é rápido através de um giro de 90° quando feito através de alavanca manual, porém, pode causar golpe de aríete na tubulação e acessórios instalados a jusante, se o fluido for compressível. As conexões podem ser flangeadas, rosqueadas ou solda de topo. São bidirecionais quanto ao sentido de fluxo. Fluxo direto e ininterrupto, proporciona baixa perda de carga (**alta recuperação de pressão\***). A área de passagem pode ser plena, reduzida ou venturi. A válvula de esfera de passagem reduzida é uma ótima opção para controle de fluxo, porém, o projetista deve estar seguro de que as tensões causadas pelas forças da tubulação no corpo da válvula serão reduzidas ao mínimo. A esfera pode ser

dos tipos flutuante, integral ou *trunnion*. O corpo pode ser monobloco, bipartido ou tripartido, ser *top entry* ou *side entry*, ter camisa de vapor e ser construído com até cinco vias. O acionamento também pode ser manual através de caixa de engrenagens (em bitolas de 8" e acima na classe 150, por exemplo) ou automático através de atuador pneumático, elétrico ou eletropneumático.

**Nota\*:** esta classificação de alta recuperação de pressão significa que a pressão a jusante se recupera num valor próximo da pressão a montante, maior do que aquele conseguido com uma válvula globo e sob a mesma pressão diferencial. Desta forma as válvulas tipo esfera e borboleta, por exemplo, requerem uma queda de pressão bem menor para produzir uma determinada taxa de fluxo, além de serem mais propícias a cavitarem.

**Macho:** São válvulas de movimento rotativo utilizadas em aplicações com fluidos tóxicos ou corrosivos e pressões positivas ou negativas. Seu elemento móvel de vedação (macho) é uma peça cônica que se movimenta dentro da corrente do fluxo através de um giro de 90°. A área de passagem pode diversas configurações Normalmente são denominadas de válvulas auto-lubrificadas quando a sede fixa é uma bucha construída em PTFE. São construídas nas classes 150, 300 e 600, em bitolas desde 1" a 24".

A área de passagem do macho pode ser dos tipos regular, retangular, *venturi*, circular, (esta última deve ser escolhida quando são previstas limpezas mecânicas periódicas através da válvula e tubulação) e a triangular para aplicações em controle automático e que proporciona uma característica de vazão do tipo igual porcentagem. Os limites de temperatura são determinados pelo material da bucha, ou seja, -29°C a 230°C. As conexões com a tubulação podem ser flangeadas ou para solda de topo. O acionamento é o mesmo descrito para as válvulas esfera e borboleta. O corpo e o macho também podem ser revestidos com PTFE para aplicações extremamente corrosivas.

A figura abaixo mostra uma válvula macho auto-lubrificada:



Suas principais características são: vedação estanque quando construídas com bucha de PTFE (auto-lubrificadas), podendo também ser construídas com sedes metal/metal; são bidirecionais quanto ao sentido de fluxo, devendo obrigatoriamente ser unidirecionais para aplicações mais específicas como cloro, oxigênio ou peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), devido ao furo de alívio que deve existir no macho do lado a montante (esta característica também é aplicada às válvulas do tipo esfera); movimento rotativo para abrir e fechar; podem ser construídas com até sete vias; a pressão do fluido tem pouca influência sobre o torque da válvula. Para efeito de controle de fluxo, a queda de pressão nas auto-lubrificadas deve ser limitada a 100 psi para evitar os efeitos erosivos do fluido sobre a bucha de PTFE.

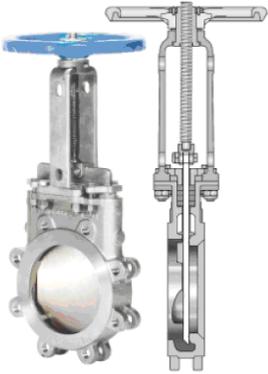
**Borboleta:** utilizada principalmente para o controle ou bloqueio de grandes taxas de fluxo de gases ou líquidos em baixas pressões. Numa comparação de custo/capacidade de vazão, as válvulas borboleta são aquelas com menor custo e maior capacidade de vazão por bitola. Vedação estanque para controle on-off no qual utiliza revestimento interno com



diversos tipos de elastômeros, dispensando a utilização de juntas entre a válvula e a tubulação. Esses elastômeros limitam a pressão e a temperatura do fluido através da válvula. Também são bidirecionais quanto ao sentido de fluxo.

A figura ao lado mostra uma válvula tipo borboleta:

Podem ser construídas nos estilos wafer, lug ou flangeadas, além de ser construídas para pressões mais elevadas nos estilos biexcêntricas ou triexcêntricas. Fluxo direto e ininterrupto, proporcionando baixa perda de carga. O perfil do disco permite um escoamento aerodinâmico do fluxo, ou seja, impõe a mínima queda de pressão ao processo estando completamente aberta. Dependendo do fabricante, podem ser construídas em bitolas até 110" na classe 150. Assim como todas as outras válvulas de movimento rotativo, quando acionadas por alavanca, há uma visualização imediata das posições aberta ou fechada.

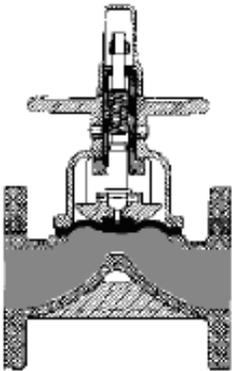


**Guilhotina:** São válvulas utilizadas para controle ou bloqueio de fluxo de fluidos como água, pó, massas ou vácuo, além de outros fluidos que possam conter grande quantidade de sólidos em suspensão, principalmente em indústrias de papel ou mineração. Em aplicações de controle modulante a área de passagem pode ser triangular ou pentagonal. Para controle on-off a área de passagem é circular.

A figura ao lado mostra uma válvula tipo guilhotina:

Seu elemento móvel de vedação é uma lâmina de aço inoxidável e que se movimenta perpendicularmente em relação ao sentido de escoamento do fluxo. Podem ser unidirecionais ou bidirecionais e o corpo pode ser monobloco, bipartido (convencional) ou faca passante, depende da aplicação desejada.

São construídas em ferro fundido, aço carbono ou aço inox, sendo a lâmina sempre construída em aço inoxidável mesmo que o material do corpo seja em ferro fundido ou aço carbono. Podem ser encontradas em bitolas desde 1" até 60", mas somente na classe 150, independente do material utilizado no corpo. A vedação pode ser perimetral ou facial no caso do modelo convencional, enquanto no modelo faca passante a vedação é somente facial. A haste pode ser ascendente ou não ascendente, depende do projeto de cada fabricante, tanto para o modelo convencional, quanto para o modelo faca passante. No modelo faca passante, e com haste ascendente, o projetista deve prever espaço suficiente acima e abaixo da válvula para instalação e operação. No modelo convencional com haste ascendente, um espaço acima da válvula também deve ser previsto. As temperaturas limites podem ficar entre -29°C a 230°C devido ao material dos termoplásticos utilizados nas vedações.



**Diafragma:** As válvulas desse tipo são utilizadas para o bloqueio ou controle de fluxo de fluidos tais como líquidos, gases e vapores, tóxicos ou não, em temperaturas e pressões suportadas pelos materiais do diafragma.

A figura ao lado mostra uma válvula diafragma tipo angular (Saunders):

O corpo pode ser de passagem reta ou angular. Esse tipo de válvula pode ser encontrado em diversos materiais para o corpo e diafragma ou ter o corpo revestido internamente com diferentes termoplásticos ou vidro para aplicações corrosivas. Este revestimento dispensa a aplicação de um material mais nobre para o corpo, reduzindo o custo final da válvula e da instalação. Sua manutenção na maioria das vezes é limitada à substituição do diafragma na própria instalação sem a necessidade da retirada do corpo da válvula da tubulação. Esta característica é

muito importante principalmente em bitolas de 6" e acima, reduzindo o tempo gasto com manutenção e parada de produção.

São fabricadas em bitolas desde 1" a 20" somente na classe 150, enquanto os limites de temperatura são determinados pelo material utilizado na construção do diafragma ou do revestimento interno do corpo, isto é, entre -29°C a 230°C.

### 3 – Controle de Fluxo

Dependendo do nível de precisão requerido pelo processo são utilizados dois tipos de válvulas que a princípio se diferenciam por seu sistema de atuação, isto é, se elas são atuadas manualmente, através de volante, alavanca, caixa de redução ou automaticamente através de um atuador que pode ser pneumático, elétrico ou eletropneumático. Aquelas que são atuadas manualmente têm o controle de fluxo e o torque de vedação dependente da experiência e sensibilidade do operador, portanto, a vedação e a precisão sobre aquele controle podem variar de operador para operador, enquanto as automáticas independem desta experiência, mas sim de finos ajustes que são feitos no posicionador da válvula. As automáticas são interligadas a uma malha de controle.

Quanto ao torque numa válvula de acionamento manual, a experiência do operador pode danificar a vedação ou outros componentes se este for excessivo, enquanto um torque inferior pode impedir uma vedação completamente estanque. Nas válvulas de movimento linear a vedação ocorre pelo torque do sistema de atuação, enquanto naquelas de movimento rotativo ela ocorre somente pelo correto posicionamento do obturador (esfera ou disco). A taxa de fluxo produzida pela válvula depende da pressão diferencial obtida pela geometria formada na área de passagem entre o anel sede e o correto posicionamento do obturador. A vedação também pode ser influenciada pela posição da válvula na instalação ou pelas forças da gravidade como, por exemplo, nas válvulas dos tipos gaveta e globo, pois o obturador (cunha ou disco) não é fixado à haste. A posição de instalação e as forças da gravidade não têm influência na vedação das seguintes válvulas: esfera, borboleta, diafragma, mangote, macho e guilhotina.

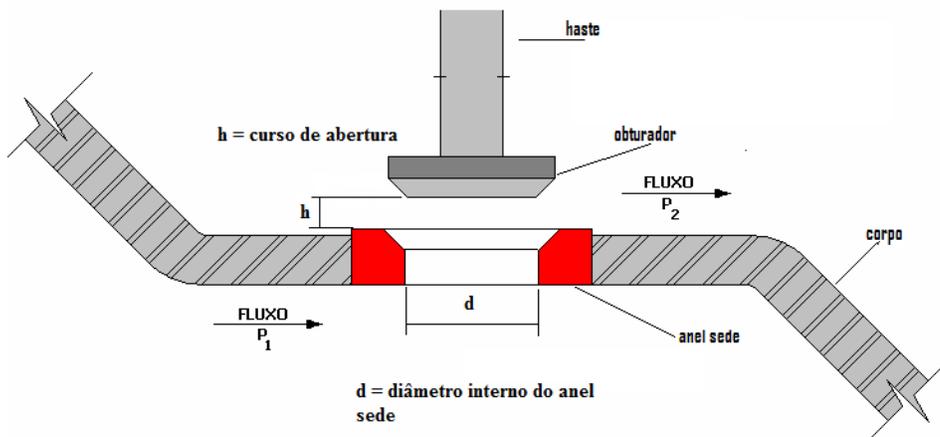
As válvulas de controle automáticas devem ser instaladas sempre que possível com a haste na vertical, porém, se for necessário sua instalação com a haste na horizontal, deve ser previsto um suporte adequado devido ao peso do atuador.

As válvulas globo de acionamento manual podem ser dos tipos: reta, angular, tipo “Y” (ou 45°), globo não-retorno e agulha. Cada uma com sua característica construtiva e aplicação, específicas. O obturador pode ser plano, cônico ou parabólico, estando estas nomenclaturas diretamente relacionadas com a superfície de vedação deste.

Existe também o tipo agulha, utilizado nas válvulas estilo globo e que levam este nome. Sua superfície de vedação também é cônica, porém, seu comprimento é maior que seu diâmetro. Esta característica proporciona um controle de fluxo melhor, (um ajuste mais fino) mas, são fabricadas somente em bitolas até 2”, enquanto as demais podem ser encontradas em bitolas até 16”. Nas outras válvulas do tipo globo e que utilizam obturador cônico, como mencionado inicialmente, o comprimento da superfície de vedação é menor que seu diâmetro.

As válvulas globo não-retorno podem ser utilizadas em saídas de caldeiras ou aplicações que necessitam de um controle vindo a montante ou impeçam o retorno do fluxo vindo à jusante. A haste não é fixada ao obturador e é utilizada somente para guiá-lo em relação ao anel sede e a fechar a válvula ou controlar a taxa de fluxo, porém, não é possível abrir a válvula a não ser pela própria pressão do fluido. Portanto, em aplicações de controle a posição da haste não pode indicar ao operador a real posição do obturador.

Numa válvula manual para controle (tipo globo) a taxa de fluxo produzida em relação ao curso do obturador é linear até que a distância (**h**) entre a superfície de vedação do obturador e a superfície de vedação do anel sede seja de no mínimo 25% do diâmetro interno (**d**) deste anel. Em outras palavras, quando ocorre uma equalização de áreas entre a área formada pelo diâmetro interno do anel sede ( **$d^2 \times 0,7854$** ), em relação àquela formada pelo curso de abertura do obturador ( **$d \times 3,1416 \times h$** ), a vazão máxima da válvula, e para aquela bitola, está sendo alcançada. Essas válvulas de acionamento manual podem também serem utilizadas na tubulação de by-pass das válvulas de controle automático, porém, nestas aplicações, a taxa de fluxo a jusante da válvula de controle pode ser elevada enquanto a válvula manual for mantida aberta.



A figura ao lado mostra um desenho do curso de abertura do obturador em relação ao anel sede:

O controle de fluxo obtido por uma válvula ocorre através da conversão da energia potencial (pressão) em energia cinética (velocidade) do fluido em escoamento. Para que o fluido passe através dos internos da válvula ele deve ser acelerado

e alcançando assim uma velocidade de escoamento maior do que aquela existente na tubulação a montante. Esta conversão de energia é a causa da queda de pressão através da válvula. Com esta conversão, há também a conversão para a energia térmica devido ao atrito do fluido com a parede do corpo e internos da válvula. Esta queda de pressão segue o princípio da conservação de energia. A energia total para o processo de controle de fluxo através dos internos de uma válvula é constante.

Numa válvula superdimensionada o controle da máxima taxa de fluxo requerida pelo processo pode ocorrer em 50% do curso do obturador ou até menos. Deste modo, uma pequena mudança na posição do obturador pode causar uma grande mudança na taxa de fluxo. Para uma válvula superdimensionada, uma determinada taxa de fluxo pode significar 30 ou 40% de sua capacidade de vazão efetiva. Embora esta não seja economicamente uma condição ideal para o processo, mas uma válvula mesmo estando superdimensionada ainda consegue atuar satisfatoriamente. Por outro lado, uma válvula subdimensionada e completamente aberta pode permitir a passagem de apenas 60% a 70% da máxima taxa de fluxo requerida pelo processo. Ambas as situações podem ser evitadas através do correto dimensionamento da válvula de acordo com os requisitos da aplicação.

Muitas vezes a própria falta de conhecimento por parte dos usuários tende a especificar uma válvula para controle de fluxo e que acaba saindo mais cara do que a aplicação realmente exige. Por exemplo, uma válvula de controle automática deve ter uma eficiência muito maior para controlar a taxa de fluxo do que a capacidade de vedar o fluido. Uma válvula com capacidade de vedação estanque numa aplicação que exige apenas o correto controle do fluxo é um custo adicional e desnecessário para aquela instalação.

Nas válvulas de movimento linear, do tipo globo, a vedação ocorre em proporção ao torque produzido pelo sistema de atuação. Contrário a esta força deve-se considerar a força exercida pela pressão do fluido sob o obturador. Nas válvulas de movimento rotativo (com exceção das borboletas bi e tri excêntricas) a vedação ocorre por posicionamento apenas, não sendo alterado de acordo com o torque do sistema de atuação, independentemente se este é por alavanca, caixa de redução, pneumático, eletropneumático, etc. O posicionamento do obturador, no caso das válvulas de movimento rotativo com acionamento manual, ocorre através de limitadores de curso dispostos a 90° e que têm a função de servir como referência para o operador.

#### 4 – Válvulas de Controle Automáticas



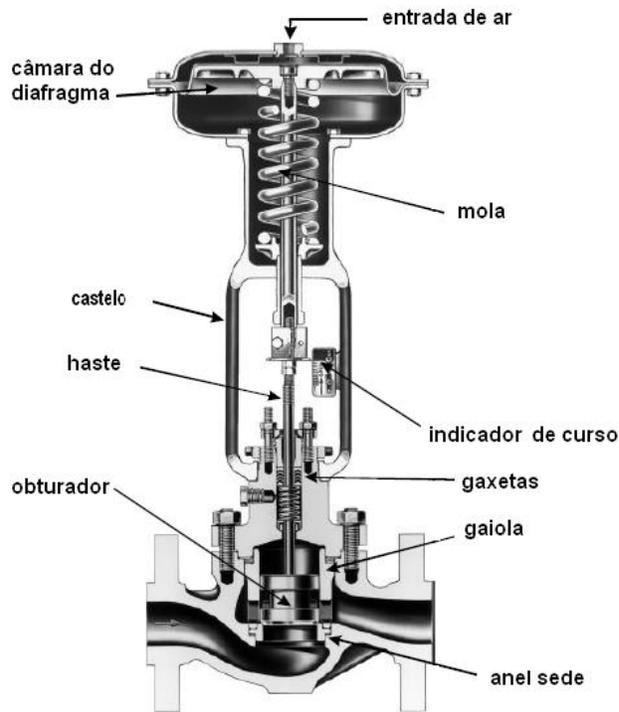
Estas válvulas têm a função de provocar uma queda de pressão (dissipação da energia produzida pelo escoamento do fluido) controlável ao processo e que depende do posicionamento do obturador. Elas são denominadas de elementos finais dentro de uma malha de controle.

Na figura ao lado pode ser visto uma válvula de controle automático de movimento linear com acionamento pneumático e com atuador do tipo diafragma e mola, instalada dentro de um processo industrial:

As informações coletadas através do sensor são enviadas ao controlador através do transmissor. Todas as vezes que o sensor percebe alguma variação no processo é gerado um sinal de desvio daquele padrão que é determinado, com isso o controlador envia um sinal de comando (sinal corretivo) ao posicionador para alterar aquela pressão de ar dentro do atuador para movimentar o obturador para a nova posição desejada de acordo

com as necessidades do processo. O equilíbrio do processo entre o fornecimento e a demanda do fluido ocorre a cada novo posicionamento do obturador. Assim, o controlador compara o valor da variável recebida com o “set point” que é o valor da condição ideal desejada pelo processo a jusante.

Os instrumentos que fazem a válvula exercer sua função corretamente dentro desta malha são: o sensor, o transmissor e o controlador. O primeiro tem a função de “sentir” as variações do processo, e através do controlador, enviar um sinal de comando ao atuador da válvula através de variações na pressão do ar comprimido dentro da câmara deste.



As válvulas de controle automático são aplicadas em sistemas de controle fechados, ou seja, são sistemas de controle por realimentação no qual a entrada de um fluido no sistema depende da saída deste. A seqüência do controle automático tem início no processo, que pode ser a temperatura de um fluido dentro de um trocador de calor, por exemplo; o nível de um líquido dentro de um tanque ou o vapor gerado por uma caldeira. Após o processo, temos os elementos primários de controle e estes podem ser os manômetros, os termômetros, etc.

Na figura ao lado pode ser visto uma válvula de controle automático de movimento linear com acionamento pneumático e com atuador do tipo diafragma e mola, com a denominação de todos os seus componentes internos:

O controlador é o dispositivo responsável por produzir o sinal de saída que será enviado ao elemento final de controle para que este altere, de acordo com as necessidades do processo, o valor da variável controlada. O sinal de saída enviado pelo controlador é produzido em função do sinal de erro ou desvio gerado dentro da própria malha de controle.

As válvulas de controle automáticas podem ser encontradas em diversos tipos e tamanhos. Essas podem ser distinguidas em relação ao movimento de seu obturador como sendo de **movimento linear**, na qual o obturador faz um movimento retilíneo em relação ao anel sede, tais como: globo sede simples, globo sede dupla, globo gaiola, globo três vias, etc., ou **rotativo**, cujo movimento do obturador faz um giro de 90° para abrir ou fechar a válvula, tais como: borboleta, esfera convencional, esfera segmentada e obturador excêntrico. Nas válvulas cujo movimento do obturador é linear, estas não devem ser aplicadas em fluidos com viscosidade elevada, por exemplo, acima de 90 cP (centipoise).

O propósito da aplicação de uma válvula automática para o controle de um processo é proporcionar uma queda de pressão variável, mas ao mesmo tempo, totalmente controlável. Porém, uma grande queda de pressão gasta energia, elevando os custos operacionais de um processo. Em alguns processos industriais o custo com a energia para o aquecimento, bombeamento ou a compressão de um fluido pode ser muito alto e a queda de pressão que é inerentemente introduzida por uma válvula deve ser analisada.

Elas operam em grande parte do tempo em posições intermediárias de abertura, apenas para controlar a taxa de fluxo requerida pelo processo a jusante. Com isso, teoricamente, podemos dizer que ocorre um desgaste maior nas gaxetas e diafragma do atuador (se este for pneumático) do que na própria vedação do obturador com o anel sede. As válvulas de controle automáticas têm padrões de tolerância de aceitação de vazamentos, sendo estes uma porcentagem sob o CV efetivo da válvula e definidos pela norma ANSI/FCI 70.2, podendo variar de acordo com o modelo da válvula, se esta é com sede metálica. Se a vedação desta é com sede macia (Classe VI), a tolerância de vazamento aceitável, também é definida por aquela norma,

sendo dada através de um determinado número de bolhas por minuto, de acordo com cada bitola e até 8", independente do modelo da válvula.

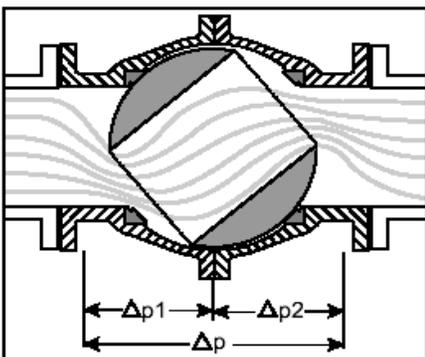
## 5 – Válvulas de Movimento Rotativo

São inerentemente não-balanceadas, principalmente nos modelos esfera e borboleta. Isto ocorre, pois a tendência do escoamento do fluxo é sempre proporcionar um torque maior durante a abertura do obturador. Numa válvula borboleta, por exemplo, o torque aumenta devido ao aumento no escoamento do fluxo em proporção ao curso de abertura da válvula, alcançando um pico máximo entre 70° e 75°, caindo bruscamente a partir deste valor até 90°, independente da pressão diferencial através da válvula. A pressão máxima fica do lado a montante do fluxo (menor velocidade e maior força de torção), enquanto a velocidade máxima fica do lado a jusante (menor pressão e menor força de torção). Com isto o fluxo tende sempre a facilitar o fechamento, porém, dificultando a abertura. Esse torque pode ser de abertura ou dinâmico. O torque de abertura ocorre quando a válvula ainda está fechada, neste momento a pressão diferencial é máxima, isto é, a pressão de entrada (a montante), é máxima, enquanto a pressão de saída (a jusante), é zero. O dinâmico ocorre quando em posição parcial de abertura o disco está sujeito aos esforços exercidos pelo fluxo em escoamento, provocando uma sollicitação de torção não balanceada e que é diretamente proporcional à queda de pressão através da válvula. Esse torque pode ficar ainda mais elevado devido ao atrito do disco com a sede, e se o fluido for seco. Os fluidos líquidos tendem a proporcionar torques menores.

Toda válvula de movimento rotativo com 90° de abertura possui a máxima vazão. Por exemplo, uma válvula borboleta com as faces do disco paralelas em relação ao escoamento do fluxo na tubulação, estará 100% aberta. Com isto, aquelas faces estarão a 90° em relação à área seccional transversal desta tubulação.

Dependendo da precisão do controle, da viscosidade e abrasividade do fluido, além da severidade exigida pelo processo, as válvulas de movimento rotativo são muitas vezes mais adequadas para controle de fluxo do que aquelas de movimento linear. Economicamente as válvulas borboleta envolvem menores custos quanto à instalação e manutenção, pois são menores e mais leves, além de proporcionar uma capacidade de vedação estanque quando a aplicação exigir, por exemplo, válvula com sede macia. A pressão e a temperatura do fluido devem ser suportadas pelo material da sede que será aplicado. Os limites permitidos são reduzidos conforme a bitola da válvula aumenta, e para o mesmo material utilizado. Já a válvula do tipo esfera possui algumas vantagens quando utilizada em aplicações de controle de fluxo:

- Não está sujeita aos mesmos altos torques dinâmicos quanto uma válvula borboleta;
- Sua capacidade de vazão efetiva é sempre muito superior a de uma válvula globo na mesma bitola, resultando em economia para a instalação;
- Disponível em uma ampla faixa de tamanhos, materiais e classes de pressão;
- Possui maior alcance de faixa para controle quando comparada com a válvula globo para a mesma capacidade de vazão e com a mesma característica de vazão.



A figura ao lado mostra como ocorre o controle de fluxo através de uma válvula tipo esfera:

Nesta figura podemos verificar que o controle do fluxo ocorre em duas etapas, ou seja, a queda de pressão ocorre em dois estágios. Enquanto a pressão a montante é reduzida, sua velocidade de escoamento é proporcionalmente elevada, conforme a esfera vai se deslocando para o fechamento. Esta redução de pressão em duas etapas reduz também a possibilidade de ocorrer cavitação através da válvula.

Uma válvula do tipo borboleta pode ter um controle de fluxo muito pobre (pouco alcance de faixa) em 10% de abertura se comparado com uma válvula globo tipo gaiola, também em 10% de abertura. As válvulas

do tipo globo são disponíveis com obturador caracterizado (ou gaiola caracterizada) permitindo pouca mudança na taxa de fluxo produzida no início da abertura e muita mudança no final da abertura. As aberturas caracterizadas da gaiola permitem uma precisão maior na característica de vazão selecionada, garantindo um ótimo desempenho operacional sobre uma ampla faixa de condições de processo. Sob condições de controle de fluxo a gaiola permite um excelente sistema de guia ao obturador quando operando sob altas quedas de pressão, além de alinhar o obturador em relação ao anel sede, proporcionando boa vedação quando fechada. Quando parcialmente aberta ela permite controlar e absorver as deflexões e vibrações laterais do obturador que ocorrem devido à queda de pressão através da válvula. Os diferentes sistemas de guia encontrados nas válvulas de controle automáticas do tipo globo, determinam a máxima pressão diferencial que elas podem absorver dentro do processo.

As válvulas esfera ou macho quando são fabricadas em multivias (três vias ou mais) são utilizadas para desviar o fluxo dentro de um sistema. Elas podem ser convergentes (misturadoras de fluxo) ou divergentes (separadoras de fluxo). Isto é uma vantagem para o processo, pois com esta configuração de corpo, apenas uma válvula pode substituir duas ou mais válvulas (depende do número de vias), reduzindo os custos com a instalação.

## **6 – Coeficiente da Válvula (CV)**

Este é utilizado para indicar a quantidade de água a 60°F (15,56°C) que podem fluir através de uma válvula totalmente aberta e com uma queda de pressão de 1 psi (0,07 kgf/cm<sup>2</sup>) através dela. Essa quantidade de fluxo indicada nas tabelas dos fabricantes é a quantidade de água em gpm (Galões por Minuto). Para outros líquidos a densidade do fluido deve ser corrigida em relação àquela da água e em sua temperatura de escoamento real na entrada da válvula. Se o fluido for compressível, os valores de CV's são os mesmos, porém, a equação para dimensionamento será diferente e sua densidade também deve ser corrigida, mas agora em relação ao ar.

O dimensionamento correto pode ser feito através de cálculos específicos de acordo com o estado físico do fluido, se líquido ou gasoso. Com isto pode ser selecionada a válvula correta quanto à bitola, materiais corretos quanto à resistência à corrosão e erosão de acordo com o fluido, classe de pressão e tipo de conexões de acordo com a pressão e temperatura, tipo de atuador e minimizar a possibilidade de ruído ou de cavitação com a aplicação de internos apropriados.

As válvulas de controle automáticas são dimensionadas e selecionadas de acordo com a taxa de fluxo e a pressão diferencial requeridas pelo processo. Com o valor dessas duas variáveis é encontrado o CV da válvula que é diferente para cada modelo, bitola, posicionamento do obturador, (em porcentagem ou ângulo) e característica de vazão selecionada. Antes que uma válvula seja selecionada e comprada para uma determinada aplicação de controle de fluxo, o CV requerido deve ser calculado para que sejam decididos qual tipo, e tamanho de válvula, aquela aplicação requer e de acordo com sua função no processo. A função que uma válvula irá exercer dentro do processo pode definir e limitar o tipo, a bitola e sua classe de pressão. A válvula selecionada deve ter o CV efetivo, no mínimo, 15% a 20% superior ao CV encontrado nos cálculos. Assim, o curso do obturador será a relação entre o CV encontrado através de cálculos, (e de acordo com a taxa de fluxo e pressão diferencial requeridas pelo processo), e o CV selecionado nos catálogos dos fabricantes de acordo com a bitola e característica de vazão selecionada. O CV selecionado deve ser o mesmo para as condições mínima, normal e máxima requeridas pelo processo.

As válvulas de bitolas iguais, porém, de tipos diferentes, apresentam valores de capacidade de vazão completamente diferentes mesmo para iguais valores de pressões diferenciais. Por exemplo, uma válvula esfera de 2", de um determinado fabricante, possui um CV efetivo de 465, enquanto para uma válvula globo na mesma bitola (e do mesmo fabricante) seu CV efetivo será de 63, se a característica de vazão selecionada for do tipo igual porcentagem e sob a mesma pressão diferencial. Como esses valores dependem da geometria que é disponibilizada para o escoamento do fluido eles também podem variar um pouco entre fabricantes.

As válvulas de controle automáticas na maioria das aplicações são instaladas numa tubulação cuja bitola desta é uma ou duas bitolas acima da válvula selecionada. Com isto há um aumento na velocidade de

escoamento do fluido na entrada da válvula em relação à velocidade na tubulação a montante. Para essa instalação são necessárias conexões de redução (antes da válvula e outra de expansão após a válvula). Essas conexões impõem uma resistência adicional ao fluxo através da válvula, reduzindo sua capacidade de vazão. Quanto maior for a redução na bitola do tubo para a válvula, maior também será a perda na capacidade de vazão desta. Essa resistência deve ser considerada nos cálculos de dimensionamento do CV requerido para a aplicação. Essa redução é corrigida através de um fator denominado  $F_p$ , independente do estado físico do fluido, seja ele compressível ou não. Seu valor é igual a 1 quando a válvula é da mesma bitola da tubulação; e inferior a este quando a válvula é menor que a tubulação (limitando-a a 50% da bitola do tubo). Este valor é adimensional, tabelado e varia entre fabricantes. O API RP 550 define regras práticas quanto à instalação das válvulas de controle automáticas.

O comportamento de qualquer tipo de válvula utilizado para controle de fluxo num sistema de tubulações é definido por sua capacidade de vazão, isto é, o valor de seu CV efetivo, em relação à perda de carga, em função de um determinado tipo de fluido. Assim, aquelas válvulas que possuem valores de CV's semelhantes, oferecem da mesma forma, perdas de carga ao processo, também semelhantes. Através dos cálculos de CV é possível também calcular a queda de pressão e a taxa de fluxo através da válvula.

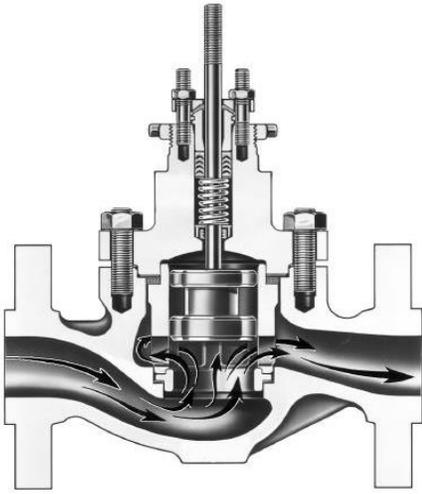
## 6.1 – Queda de Pressão ou Pressão Diferencial ( $P_1 - P_2$ )

Ela é essencial para o escoamento do fluxo por uma tubulação ou válvula. Através de uma válvula, durante o controle do fluxo, a queda de pressão sempre varia inversamente com a vazão, ou seja, uma alta pressão diferencial na vazão mínima ou uma baixa pressão diferencial na vazão máxima. Quando uma válvula é utilizada para controle *on-off* somente, a queda de pressão deve ser de 3 a 5 psi, para se obter a maior bitola para a maior taxa de fluxo envolvida na tubulação na qual ela está acoplada. Para controle de fluxo modulante essa queda de pressão, através de uma válvula do tipo globo ou borboleta, por exemplo, não pode ultrapassar 50% da pressão de entrada absoluta, independente do fluido ser líquido, vapor d'água, ar comprimido ou um outro gás qualquer.

Desta forma a queda de pressão através de uma válvula ocorre em função da área de passagem selecionada. A bitola da válvula a ser selecionada depende do valor da queda de pressão requerida para um correto controle do fluxo no processo. Uma diretriz geralmente adotada para a especificação de uma válvula para um processo de bombeamento de líquido, por exemplo, é que a queda de pressão através dela deva ser de 25% a 33% da queda de pressão total do sistema, desde seu fornecimento até o final da tubulação. Dentro destes valores, na taxa de fluxo nominal, o controle do fluxo não fica prejudicado e a característica de vazão será a mais linear possível. Quanto maior é a queda de pressão requerida pelo processo, menor será a bitola da válvula, e vice-versa.

As válvulas de alta recuperação de pressão dos tipos esfera ou gaveta quando utilizadas para controle *on-off* têm uma queda de pressão, estando completamente abertas, praticamente que equivale a um trecho reto de tubo, na mesma bitola e mesma distância entre flanges. Em um controle modulante, através de uma válvula de movimento rotativo, a queda de pressão que ocorre não é constante, mas varia proporcionalmente ao quadrado da taxa de fluxo se o fluido for líquido. Por exemplo, se o valor da taxa de fluxo for dobrado o valor da queda de pressão é reduzido para 25% do valor existente na taxa de fluxo anterior. Exemplificando isto de forma mais prática, se uma válvula tipo esfera estiver parcialmente aberta e permitir a passagem de 275 gpm de água com uma queda de pressão de 16 psi, se a esfera for aberta ainda mais, a vazão vai aumentando e a queda de pressão vai diminuindo. Quando a vazão for equivalente a 550 gpm, a queda de pressão será de apenas 4 psi. Por um outro lado, se a quantidade de fluido que entra na válvula for dobrada, a queda de pressão causada, com o mesmo posicionamento da esfera, é elevada em quatro vezes. Se a taxa de fluxo for elevada para 1100 gpm, com o aumento no curso de abertura da esfera até sua abertura máxima, a queda de pressão causada será de 1 psi.

Podemos verificar com isto, que todas as vezes que a válvula permitiu dobrar a taxa de fluxo, a queda de pressão foi sendo reduzida cada vez mais, isto é, numa proporção de 4:1. Para este exemplo, a válvula escolhida tem um CV máximo de 1100, ou seja, uma válvula esfera com bitola de 3". Nesse tipo de válvula a queda de pressão, para propósitos de controle de fluxo, ocorre sempre em dois estágios. Cada estágio é formado pela abertura entre a área de passagem da esfera e a área de passagem de cada anel de vedação, um a montante e outro a jusante.



Na figura ao lado pode ser visto como a área formada pelo curso de abertura, entre o obturador e o anel sede, além das aberturas caracterizadas da gaiola de uma válvula tipo globo, dissipa a energia do fluido em escoamento para causar a queda de pressão:

Nos fluidos compressíveis a taxa de fluxo através da válvula não é proporcional à raiz quadrada da pressão diferencial ( $\sqrt{\Delta P}$ ) como é visto normalmente nos líquidos. A expansão do fluido durante a queda de pressão causa uma redução em sua densidade (somente os fluidos compressíveis reduzem sua densidade durante a queda de pressão), provocando um desvio naquela linearidade entre a montante ( $P_1$ ) da válvula e o ponto de *vena contracta* (veia contraída mínima). Este é o ponto de menor pressão e maior velocidade de escoamento do fluido dentro da válvula, independente do estado físico deste. Ele fica

localizado logo após a menor área seccional transversal da região de controle da válvula, que é a área formada pela abertura entre o obturador e o anel sede.

## 6.2 – Estações Redutoras de Pressão

Dentro de uma unidade de processo, existem situações em que a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) de alguns equipamentos é inferior àquela produzida pela Caldeira, Compressor, Bombas, etc. Para reduzir a pressão a um valor compatível com a operação daqueles equipamentos são utilizadas Válvulas Redutoras de Pressão ou Válvulas de Controle Automáticas com a função de reduzir a pressão. Por exemplo, se numa caldeira o vapor é gerado numa pressão maior que aquela na qual ele será consumido, o volume específico ocupado pelo vapor será menor, reduzindo o custo com a instalação, pois serão necessários acessórios e tubulações em diâmetros menores para conduzir esse vapor até o ponto de consumo. A redução de pressão causa um aumento no **calor latente\*** do vapor, o que é ideal para processos que necessitam de aquecimento (troca térmica).

Uma válvula redutora de pressão também é uma válvula de controle automática, porém, ela é projetada para reduzir a um valor constante, na saída da válvula ( $P_2$ ), a pressão de entrada ( $P_1$ ). Assim, o valor de  $P_2$  é mantido constante, independente das alterações que possam ocorrer na pressão ou taxa de fluxo do sistema a montante. Esta válvula possui um piloto regulador de pressão e que mede o valor de  $P_2$ , posicionando o curso do obturador, para que seja mantida num valor constante aquela pressão de saída. Desta forma quando o valor de  $P_2$  fica menor que aquele estabelecido pelo processo, o obturador da válvula abre, enquanto se o valor de  $P_2$  fica elevado, o obturador reduz seu curso de abertura. A válvula de controle automática utiliza uma fonte externa de comando (pneumática ou elétrica), enquanto uma válvula redutora de pressão utiliza a própria energia do fluido para sua atuação.

Praticamente numa válvula de controle, com a função de reduzir a pressão, o diferencial imposto é fixo, ou seja, os valores de  $P_1$  e  $P_2$  normalmente são constantes, ou pelo menos o valor de  $P_2$  é sempre constante. Nas válvulas de controle que são utilizadas para manipular pressão, vazão, temperatura, nível, etc, essa pressão diferencial é variável, pois depende das necessidades do processo a jusante. No lado de baixa pressão dessas válvulas, deverá sempre existir uma válvula de segurança, principalmente se a PMTA do equipamento que está consumindo o fluido for menor que a pressão de entrada da válvula redutora.

A pressão de ajuste da válvula de segurança deve ser limitada na PMTA do equipamento ou abaixo desta. A instalação de uma válvula de segurança nesse caso se torna necessária, pois a PMTA do equipamento sendo protegido, na maioria das aplicações, é inferior a pressão de entrada da válvula de controle. Se a válvula de controle falha totalmente aberta, podendo causar uma sobrepressão no equipamento a jusante, esta será a situação de alívio para o dimensionamento da válvula de segurança. A pressão diferencial através da válvula de controle é a máxima pressão a montante menos a pressão de alívio através da válvula de segurança instalada a jusante. Quando o fluido é compressível, conforme sua pressão é reduzida, seu volume específico aumenta. Assim, quanto maior for a pressão diferencial através de uma válvula de controle, maior também deverá ser a área do bocal de uma válvula de segurança instalada a jusante. Dependendo do valor da pressão diferencial, a pressão a montante da válvula de controle pode coincidir com a pressão de alívio através da válvula de segurança. A válvula de segurança também pode ser instalada do lado a montante da válvula de controle, mas somente quando o valor da PMTA do equipamento instalado a jusante

desta permitir. Esta é uma condição comum quando a pressão diferencial através da válvula de controle é muito baixa e que em muitas aplicações pode facilitar a instalação da válvula de segurança.

**Nota\*:** **Calor Latente** – quando ocorre uma mudança no estado físico de um corpo através do fornecimento ou recebimento de calor, porém, sem alterar sua temperatura. Por exemplo, a transformação da água em vapor saturado, pois ocorre sob uma pressão definida mudando seu estado físico (líquido para vapor), porém, sem mudança de temperatura.

A localização da válvula de segurança deverá ser numa região onde não ocorra turbulência devido à redução de pressão. O melhor local será num trecho reto de tubo a uma distância mínima de 8 a 10 diâmetros da saída da válvula redutora de pressão.



A figura ao lado mostra uma típica instalação de redução de pressão dentro de um processo industrial:

O uso de válvulas redutoras de pressão faz com que o investimento de capital da instalação seja menor devido a menor pressão envolvida, porém, para isso a válvula de segurança deve ser corretamente dimensionada, instalada, mantida e regularmente inspecionada, para atender aos requisitos de pressão, funcionamento e capacidade de vazão, exigidos pelo processo.

Assim como nos outros equipamentos, a seleção e dimensionamento de uma válvula de segurança para essa situação são baseados na pior

condição esperada para o processo, sendo assim, a pior condição é a falha totalmente aberta da válvula de controle. Desta forma, o volume da entrada e a pressão reduzida na saída da válvula de controle (ou redutora) são os parâmetros para se determinar a pressão de ajuste e a área do orifício do bocal, necessários para manter a segurança do processo.

Num processo com vapor d'água saturado seco no lado a montante, este pode tornar-se vapor superaquecido, em função da menor umidade do vapor conseguida durante a redução de pressão.

Quando houver válvula de bloqueio na entrada da válvula redutora, esta deverá ser aberta lentamente, para que não ocorra a abertura total desta, e conseqüentemente, da válvula de segurança.

Quando a válvula de controle utiliza válvula de bloqueio e controle na tubulação do *by pass*, a soma do CV máximo destas válvulas é a base para determinar a capacidade de vazão da válvula de segurança, considerando-se que ambas possam estar totalmente abertas no momento em que a válvula de segurança e/ou alívio for solicitada para atuar.

Essa redução de pressão dentro de um processo também pode ser feita através de uma turbina que utiliza vapor superaquecido para movimentar turbo geradores, turbo compressores, turbo bombas, turbo ventiladores, etc. e que também necessitam ter válvulas de segurança para proteger o lado de baixa pressão destes equipamentos.

## 7 – Características de Vazão

A taxa de fluxo por diferentes estilos de corpos e internos de válvulas de controle pode variar com diferentes curvas, através de uma queda de pressão constante. Isto é denominado de característica de vazão da válvula. A característica de vazão de uma válvula de controle tem como propósito permitir uma estabilidade de controle relativamente uniforme sobre a faixa de operação do processo. Durante o projeto de uma instalação a meta é “casar” a característica de vazão da válvula especificamente com as necessidades do processo.

De acordo com a aplicação, o obturador pode ter diversos perfis que são expostos ao escoamento do fluido. A geometria formada entre este perfil (ou as aberturas da gaiola), o curso de abertura do obturador e o diâmetro interno

do anel sede, permite que a cada novo posicionamento do obturador, seja produzida uma nova taxa de fluxo e numa característica de vazão pré-definida pelo projeto da válvula, podendo ser ela linear, igual porcentagem, parabólica modificada ou abertura rápida. A aplicação da válvula no processo define o tipo de característica de vazão que deve ser selecionada.

Em aplicações de controle de nível é recomendado que a característica de vazão selecionada seja do tipo linear, ou seja, a taxa de fluxo produzida pela válvula é diretamente proporcional ao curso de abertura do obturador em relação ao curso máximo. Com esta característica de vazão uma válvula que tem um CV efetivo de 300 (300 gpm) permitirá a passagem de 180 gpm se o curso do obturador estiver em 60% de sua abertura máxima.

Nas aplicações de aquecimento ou para controle de fluxo com fluidos inflamáveis ou processos que têm maiores alterações na pressão diferencial em condições operacionais, entre outras, recomenda-se uma característica de vazão do tipo igual porcentagem, que é aquela na qual para iguais aumentos no curso do obturador haverá iguais aumentos na taxa de fluxo produzida pela válvula, antes da mudança ocorrer. Por exemplo, para um determinado tipo e tamanho de válvula, se o obturador muda seu posicionamento em relação ao anel sede, de 20% para 26%, isto é, um aumento de 30% no curso e a taxa de fluxo era de 10 ton/h passará agora para 12 ton/h, um aumento de 20%. Quando o processo exigir um aumento no curso de abertura do obturador de 26% para 33,8%, novamente um aumento de 30% no curso irá ocorrer, enquanto a taxa de fluxo passará de 12 ton/h para 14,4 ton/h. Portanto, novamente um aumento de 20%. Podemos verificar com este exemplo que o aumento na taxa de fluxo ocorre de forma exponencial e não linear. Este tipo de característica de vazão é o mais utilizado na maioria das aplicações de controle de fluxo automático na indústria, e principalmente, quando a variável controlada é a temperatura do fluido. Sempre que a pressão diferencial total do sistema for maior (70% ou mais) que a pressão diferencial através da válvula, uma característica de vazão inerente do tipo igual porcentagem irá produzir uma característica de vazão próxima da linear, ou seja, a queda de pressão através da válvula é de 30% ou menos da queda de pressão total do sistema.

A mudança na taxa de fluxo em porcentagem em relação a uma determinada mudança no curso do obturador é uma constante (daí o nome igual porcentagem). Devido a esta característica, com uma abertura maior da válvula, o que resulta em maior taxa de fluxo, a mesma mudança em porcentagem no curso do obturador pode levar a uma mudança com aumento maior na taxa de fluxo. Por exemplo, um aumento de 4% sobre 150 gpm (máxima vazão requerida) é 6 gpm, enquanto um aumento de 4% sobre 15 gpm (mínima vazão requerida) é apenas 0,6 gpm. Com isto o **ganho\*** da válvula aumenta com o aumento da taxa de fluxo devido ao aumento no curso de abertura do obturador.

Quando em posição parcial de abertura, portanto, controlando o fluxo, as válvulas do tipo esfera, apresentam uma característica de vazão do tipo igual porcentagem, devido ao inerente resultado da configuração dos orifícios formados em conjunto com o furo da esfera e com a área de passagem formada por cada anel de vedação individualmente.

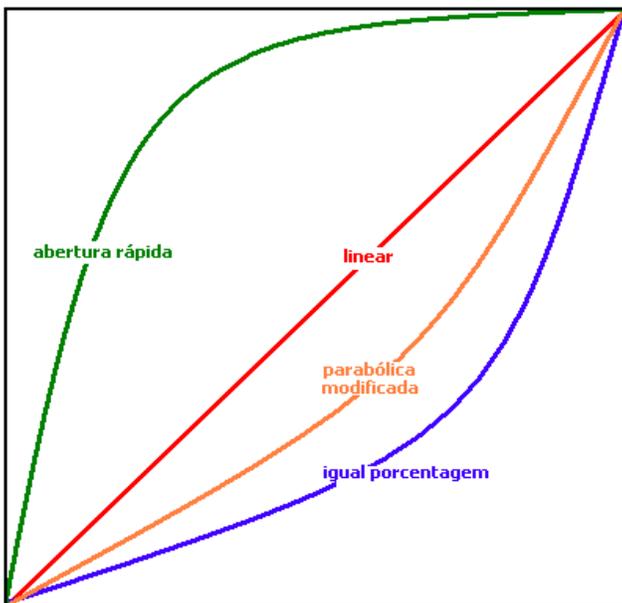
**Nota\*:** o ganho é definido como a relação entre a variação na taxa de fluxo produzida, pela variação no curso do obturador. Esta variação no curso do obturador ocorre por variações no sinal enviado pelo controlador.

A característica de vazão do tipo parabólica modificada fica entre a linear e a igual porcentagem. Ela proporciona um bom controle quando o obturador está próximo da posição fechada. Porém, se torna insensível para controle em aberturas mais próximas da posição totalmente aberta. Ela pode ser utilizada para as mesmas aplicações recomendadas para a característica do tipo igual porcentagem.

Essas características de vazão são utilizadas para processos de controle modulante onde o curso do obturador varia entre 15% a 85% de seu curso máximo, quando o movimento do obturador da válvula é do tipo linear. Nas válvulas de movimento rotativo tipo esfera, borboleta, etc, o melhor posicionamento deve ficar entre 20% a 70% de rotação do obturador, isto é, entre 18° e 63°. Um ângulo maior do que 63° deve ser evitado, pois pode causar cavitação se o fluido for líquido. Quando uma aplicação de controle exige que o ângulo de abertura seja superior a este limite, significa que a válvula está subdimensionada, portanto, deverá ser utilizada uma válvula maior para que o ângulo de abertura seja menor. É dentro destes valores de porcentagem (ou ângulo) que deve ficar a vazão mínima, normal e máxima, requerida pelo processo. Quando utilizadas para controle *on-off*, isto é, totalmente abertas ou totalmente fechadas, as válvulas de movimento rotativo podem ser utilizadas num ângulo de 90° ou 0°, respectivamente.

A característica de vazão do tipo abertura rápida é utilizada principalmente em aplicações de alívio de pressão na qual um sinal de comando para a abertura total do obturador é exigido pelo processo a montante, ou seja, onde o alívio de uma grande taxa de fluxo é necessário **rapidamente\***. Este tipo de característica de vazão é muito utilizado em processos biestáveis na qual a válvula de controle opera a maior parte do tempo fechada. O obturador não possui perfil caracterizado, por esta razão a taxa de fluxo produzida pelo curso de abertura é linear até haver uma equalização de áreas entre a área formada por este curso e a área de passagem do anel sede. Normalmente o comando enviado pelo controlador é um sinal de 100%, tanto para abrir quanto para fechar a válvula.

**Nota\*:** para estas aplicações é recomendada a instalação de uma válvula de segurança em conjunto com a válvula de controle.



As diferentes características de vazão inerentes a cada modelo de válvula são mostradas nos catálogos dos fabricantes através de curvas que indicam a máxima taxa de fluxo em relação ao máximo curso do obturador. Então aquela geometria formada entre o perfil do obturador, anel sede e curso, obtida desta forma, reflete a característica de controle de cada válvula, determinando se esta é ou não melhor apropriada para uma aplicação de controle de fluxo em particular. A máxima taxa de fluxo não depende mais da característica de vazão selecionada, quando o curso de abertura do obturador alcança um valor igual a 100%, como pode ser visto nos gráficos apresentados pelos fabricantes, semelhante a este que aparece na figura ao lado:

Todas essas características de vazão que foram apresentadas também podem ser definidas como inerente ou instalada. A diferença entre ambas é que a primeira é aquela que ocorre quando a queda de pressão através da válvula é constante, isto é, toda a queda de pressão está somente na válvula e nenhuma no sistema. Ela é apenas uma característica de vazão teórica, portanto, é a relação entre o sinal de saída

vindo do controlador e a taxa de fluxo produzida pela válvula. A instalada é aquela na qual a queda de pressão varia com as alterações no processo a montante, ou seja, quando toda a pressão de um sistema é fornecida por uma bomba, compressor, etc. Nesta, uma alteração no posicionamento do obturador altera a taxa de fluxo e a queda de pressão através da válvula.

O controle do fluxo através dos internos da válvula produz altas velocidades de escoamento ao fluido e que são maiores na região entre o obturador e o anel sede do que na parede do corpo da válvula. Devido a esta alta velocidade que pode causar erosão, *flashing*, ou cavitação, os internos das válvulas devem ser especificados e fabricados em materiais com maior resistência a esses efeitos, sendo na maioria das vezes em inox 316, (revestidos ou não), ou mais nobres, quando o corpo e castelo da válvula são fabricados em aço carbono, aço inoxidável ou aço liga. Sedes macias devem ser evitadas para controle modulante. Nas válvulas tipo esfera com sedes macias, por exemplo, esta situação se torna ainda mais crítica quanto maior for a queda de pressão devido às altas velocidades de escoamento envolvidas, pois a esfera fica posicionada muito próxima do fechamento.

## 7.1 – Escolha da Característica de Vazão

A seguir são fornecidas as diretrizes para a escolha da melhor característica de vazão. Uma análise dinâmica completa do processo deve ser feita para a escolha da característica de vazão definitiva.

A escolha da característica de vazão mais adequada a um determinado tipo de processo depende da variável que se deseja controlar. As principais variáveis são:

- Nível de líquido
- Pressão
- Vazão

### Linear

Para nível de líquido a característica de vazão mais comum a ser selecionada é a linear, pois a queda de pressão é constante.

Quando a queda de pressão é reduzida devido ao aumento da vazão, por exemplo, se numa condição de vazão máxima a queda de pressão causada for superior a 20% da queda de pressão causada na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a pressão diferencial através da válvula é 10 psi e na vazão mínima essa pressão diferencial é agora 45 psi.

Esta característica deve ser escolhida também quando um aumento na queda de pressão, com um conseqüente aumento na vazão, numa condição de vazão máxima, for inferior a 200 % da queda de pressão na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é 12 psi, enquanto na vazão mínima a queda de pressão é 45 psi.

Para controle de pressão ela deve ser selecionada quando a queda de pressão na vazão máxima for superior a 20% da queda de pressão na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é 16 psi e na vazão mínima a queda de pressão é de 60 psi.

**Fluidos compressíveis** – processos que não exigem respostas rápidas e possuem grandes volumes de fluxo, por exemplo, o processo possui um receptor, um sistema de distribuição ou uma tubulação com comprimento superior a 30 metros de tubulação a jusante da válvula de controle.

A característica de vazão linear deve ser aplicada também para controle de vazão quando o sinal enviado pelo elemento primário de medição for proporcional ao quadrado da taxa de fluxo produzida. Neste caso duas situações devem ser consideradas quando houver **grandes** variações na taxa de fluxo em relação ao local em que o elemento primário de medição de fluxo está instalado:

- Em série com a válvula de controle;
- Na válvula do by-pass; neste caso o fechamento da válvula de controle causa simultaneamente um aumento na taxa de fluxo produzida através da válvula do by-pass.

## Igual Porcentagem

Esta característica de vazão deve ser selecionada quando há uma redução na queda de pressão com um conseqüente aumento na vazão, isto é, quando a queda de pressão numa condição de vazão máxima for inferior a 20% da queda de pressão na vazão mínima ou para controle de pressão quando o fluido for líquido. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é 8 psi, enquanto na vazão mínima ela é de 50 psi.

Esse tipo de característica de vazão pode ser utilizado também:

- Para fluidos compressíveis em sistemas que exigem respostas rápidas.
- Em malhas cujo equipamento ou processo que recebe a taxa de fluxo vinda da válvula de controle está numa distância inferior a 3 metros desta.

**Fluidos compressíveis** – sistemas que não exigem respostas rápidas. O volume de fluido a ser controlado é grande. Reduzindo a queda de pressão com o aumento da vazão, ou seja, se o valor da queda de pressão na vazão máxima for inferior a 20% da queda de pressão na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é de 15 psi, enquanto na vazão mínima ela é de 90 psi.

Para controle de vazão quando o sinal enviado pelo elemento primário de medição for proporcional à taxa de fluxo produzida. Neste caso duas situações devem ser consideradas quando houver **pequenas** variações na taxa de fluxo, porém, com grandes variações na queda de pressão, com o aumento na taxa de fluxo, em relação ao local em que o elemento primário de medição está instalado:

- Em série com a válvula de controle;
- Na válvula do by-pass; neste caso o fechamento da válvula de controle causa simultaneamente um aumento na taxa de fluxo produzida através da válvula do by-pass.

## Abertura Rápida

Se numa condição de aumento na queda de pressão, em que simultaneamente ocorre um aumento na vazão, deve ser selecionada uma característica de vazão do tipo abertura rápida, isto é, se numa condição de vazão máxima a queda de pressão causada for superior a 200% da queda de pressão numa condição de vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a pressão diferencial é de 90 psi, enquanto na vazão mínima ela é de 28 psi.

## 7.2 – Alcance de Faixa

Este termo é também conhecido como “rangeabilidade” da válvula. Ele é a relação entre a máxima vazão pela válvula e a mínima vazão controlável. Por exemplo, se a máxima taxa de fluxo por uma válvula

globo for 300 gpm e a mínima taxa de fluxo que ela é capaz de controlar for 6 gpm, o fator do alcance de faixa será  $300/6 = 50$ , isto é, 50:1.

As válvulas tipo esfera podem ter um alcance de faixa que vai desde 100:1 até 300:1. Uma válvula de controle tipo globo sede simples tem este alcance de faixa de 50:1 até 100:1. Para uma válvula borboleta convencional este alcance de faixa é de apenas 20:1. Quanto maior for o alcance de faixa maior também poderá ser a pressão diferencial através da válvula, significando que melhores serão suas características para o controle do fluxo. O alcance de faixa é uma característica de projeto de cada tipo de válvula.

Para se determinar o alcance de faixa requerido numa válvula de controle, é necessário, para um ajuste em particular das reais condições de fluxo, fazer uma relação entre o máximo CV requerido para o mínimo CV requerido pelo processo. Se esta taxa for menor que o alcance de faixa disponível na válvula, o controle do fluxo será perfeitamente correto.

A válvula de controle tem o alcance de faixa que é especificado pelo fabricante, denominado de “alcance de faixa inerente”, porém, após ser instalada no processo ela terá o “alcance de faixa instalado”. O alcance de faixa especificado e o instalado podem ser completamente diferentes. O inerente pode ser definido como a faixa de coeficientes de vazão (CV's) no qual o ganho da válvula não desvia de um ganho especificado por algum limite de tolerância exposto. No caso do instalado é a faixa dentro da qual um desvio vindo de uma característica de vazão instalada não excede algum limite de tolerância exposto. Ele é a relação entre o instalado e a pressão diferencial através da válvula. Quando o instalado é maior que o especificado poderá ser necessário selecionar outro tipo de válvula que atenda às necessidades do processo ou utilizar duas válvulas e dividir a faixa de controle entre elas (**faixa dividida\***).

Para se evitar problemas com o alcance de faixa de uma válvula a ser instalada, especifique e selecione uma na qual tenha uma característica de vazão que melhor se adapte aos requerimentos do processo.

**Nota\*:** uma operação de faixa dividida ocorre quando um único sinal vindo do controlador comanda duas ou mais válvulas de controle.

## 8 – Atuador

Este é o músculo da válvula e sua função é converter o sinal de comando enviado pelo controlador em um ajuste físico na variável de processo. Ele converte um sinal industrial padrão para acionar a válvula, movimentando seu obturador. O atuador pneumático fornece um sinal de 3 a 15psig para movimentar o obturador. Um transmissor I/P converte um sinal de 4 a 20 mA (miliamper) em sinal pneumático de 3 a 15 psig, através de um fornecimento de ar de 20 psig.

O atuador pneumático é o mais utilizado em válvulas de controle, no qual de um lado atua a pressão do ar para movimentar o obturador, enquanto do lado oposto um conjunto de molas atua para voltar a haste e obturador todas as vezes que a pressão do ar é reduzida. Este pode ser de ação direta ou ação reversa.

Naquele de ação direta um aumento na pressão do ar movimenta a haste e obturador no sentido descendente, enquanto no de ação reversa o movimento ocorre no sentido ascendente. Este movimento pode causar a abertura ou o fechamento do obturador e depende do tipo de corpo da válvula, ou seja, se este é de ação direta ou de ação reversa. Assim, naquele do tipo ação direta, para o corpo também do tipo ação direta, ocorre uma redução no curso do obturador até seu fechamento total quando a pressão do ar é elevada. O mesmo ocorre se o corpo e atuador forem do tipo ação reversa. Porém, quando o corpo for do tipo ação direta e o atuador for do tipo ação reversa um aumento na pressão do ar causa a abertura do obturador. Se o corpo for do tipo ação reversa e o atuador for do tipo ação direta, um aumento na pressão do ar no atuador causa também a abertura da válvula. O corpo de ação direta numa válvula globo do tipo sede simples é aquele na qual o obturador fica situado entre o anel sede e o atuador. No corpo de ação reversa o anel sede fica situado entre o obturador e o atuador.

## 8.1 – Falha segura

Quando o sinal de controle ou o fluido de atuação são isolados do atuador da válvula seu obturador retorna para a posição inicial, antes que a câmara pneumática seja pressurizada. Sendo assim o obturador deve se colocar numa posição que seja segura para o processo, através da força exercida pelo conjunto de molas, podendo ser totalmente aberta ou totalmente fechada. Estas são as possíveis posições de falha e que não comprometem a segurança do processo. O atuador sob falha segura mantém uma posição pré-definida até que a operação normal do processo seja reassumida e aquela câmara seja pressurizada novamente.

Esse modo de falha é selecionado de acordo com cada processo em particular. Num processo químico o objetivo principal, quando os movimentos do atuador ficam isolados da válvula pela falta do fluido ou sinal de alimentação deste, é bloquear o envio de fluido ao processo a jusante, com isto a pressão e a temperatura de operação são reduzidas, se o modo de falha for normalmente fechado. Se o processo exige que o modo de falha seja normalmente aberto, a válvula permitirá a passagem constante de fluido, evitando um aumento de temperatura, por exemplo, em aplicações de resfriamento.

A falha segura pode também evitar as reações químicas que possam ser causadas, evitando que a pressão e a temperatura venham a ser elevadas. Portanto, em processos de aquecimento a válvula deve falhar na posição totalmente fechada, enquanto num processo de resfriamento a falha deve ser totalmente aberta. A combinação do tipo de corpo com o tipo de atuador (somente nas válvulas do tipo linear) ou a montagem do atuador em relação ao eixo do obturador, apenas com uma mudança de 90° de acordo com a posição de falha desejada (nas válvulas de movimento rotativo), deve alcançar a posição que seja segura para o processo.

Se a válvula não fecha numa condição destas podem ocorrer perdas de produtos valiosos através de sistemas de alívio devido ao aumento de pressão, além de danificar equipamentos por meio de ruptura, entupimento, aquecimento, incêndio, etc. A possibilidade de ferimento ao pessoal envolvido com o processo também deve ser considerada.

Estas possíveis posições de falha é uma função adicional para as válvulas de controle automáticas. A condição de segurança é identificada através de uma análise do processo inteiro durante a fase de projeto.

Dentro de um processo as válvulas de controle automáticas não devem ser consideradas como válvulas de bloqueio, principalmente quando seu modo de falha for normalmente aberta.

## 8.2 – Posicionador

O posicionamento do obturador é baseado no equilíbrio das forças entre o sinal enviado pelo controlador e o posicionador do atuador. Assim, a função do posicionador é causar um equilíbrio entre essas duas forças, isto é, aquela proporcional à entrada do sinal do controlador e a força proporcional à haste do atuador. Se o sinal está em mA (miliampere), uma conversão para o sinal pneumático é necessária e sendo feita através de um transdutor.

A função deste posicionador, como o próprio nome sugere, é posicionar (sincronizar) automaticamente o obturador da válvula, ou seja, seu elemento móvel de vedação, em relação ao anel sede e de acordo com o sinal de comando enviado pelo controlador. Este posicionamento varia de acordo com as necessidades do processo. Desta forma podemos dizer que o posicionador é o acessório responsável pelo desempenho operacional de uma válvula de controle, alterando a pressão do ar dentro do atuador para movimentar o obturador de acordo com as necessidades do processo, além de mantê-lo na posição fechada e vedando, caso a aplicação assim exigir. Seu uso não se faz obrigatório para as válvulas que utilizam atuadores do tipo mola e diafragma, pois a posição do obturador pode ser conseguida diretamente com o sinal de saída vindo do controlador.

## 8.3 – Histerese

Ela ocorre quando a mesma mudança no sinal de saída enviado pelo controlador em ambas as direções (abertura e fechamento do obturador) resultam numa mudança diferente no valor do processo. Por

exemplo, quando a saída é 20% e a variável do processo é a temperatura do fluido e está em 80°C; quando a saída do controlador aumenta para 25% a temperatura aumenta para 90°C. Porém, quando o controlador volta para 20%, a temperatura somente retorna para 88°C. Esta diferença resulta em diferentes ganhos para o processo, em ambas as direções, confundindo o controlador no qual foi ajustado para somente um ganho. Esta pode ser encontrada, por exemplo, quando a válvula instalada é do tipo esfera flutuante, devido à folga no encaixe entre a haste e a esfera. Nas válvulas esfera de modelo pendular a histerese não ocorre. O posicionador também ajuda a evitar a ocorrência da histerese, independente do projeto da válvula.

#### **8.4 – Banda Morta**

Uma válvula de controle sofre com a “Banda Morta” quando o sinal de saída vindo do controlador inverte a direção e a válvula não responde. Assim, a variável do processo que está sendo manipulada pela válvula pode também não responder ao comando do controlador. Essa “Banda Morta” existe quando uma mudança na posição do obturador durante a inversão no sentido de direção, isto é, abrindo ou fechando o obturador, o sinal enviado pelo controlador não muda a posição do obturador, não alterando a taxa de fluxo produzida.

A banda morta é, portanto, uma medida de quanto precisamente a válvula pode controlar a taxa de fluxo. Ela é causada principalmente pelo atrito entre a haste e o engaxetamento, além de outras forças sobre a haste. Ela é registrada em % e representa a máxima mudança relativa no sinal para a válvula de controle e que poderia não causar uma mudança mensurável na taxa de fluxo. Normalmente as válvulas automáticas de controle têm uma banda morta que pode variar de 10% a 25%. Assim, para uma banda morta de 10% uma mudança no sinal enviado para a válvula que é maior do que 10% resultará numa mudança na medição na taxa de fluxo (máxima alteração positiva). Se por um outro lado o sinal enviado for menor que 10% não haverá mudanças na taxa de fluxo medida (máxima alteração negativa). Uma válvula de controle operando corretamente e com posicionador instalado, tipicamente deveria ter uma banda morta inferior a 0,5%.

Portanto, podemos concluir que se o sinal enviado para a válvula de controle estiver numa porcentagem superior ao valor de sua máxima banda morta, a mudança na taxa de fluxo ocorre. Se o sinal enviado pelo processo à válvula (através do sensor e controlador) for menor que sua máxima banda morta, a mudança na taxa de fluxo não ocorre.

#### **9 – Cavitação**

Ela é definida como um fenômeno físico, e de duplo estágio, que ocorre no controle de líquidos devido à formação de bolhas de vapor e conseqüente implosão, retornando ao estado líquido, após a pressão a jusante ter sido recuperada novamente. Parte da vaporização causada no líquido durante a redução de pressão, abaixo de sua pressão de vapor, se condensa e retorna ao estado líquido. No local onde ocorre a implosão das bolhas são geradas “crateras” na superfície da peça atacada devido à retirada de material que, a principio, pode dar a impressão de corrosão. Essa retirada de material é a causa do ruído hidrodinâmico, comum em condições cavitantes.

Quando o líquido passa pela região de controle da válvula, a velocidade de escoamento alcançada por ele nessa área é proporcional à queda de pressão. As velocidades de escoamento desenvolvidas pelo fluido naquela região devem ser analisadas na hora de especificar o material de construção dos internos. Quando a válvula está fechando aquela área está sendo reduzida e a velocidade de escoamento do fluido está aumentando. Com essa aceleração do líquido sua pressão vai sendo proporcionalmente reduzida. Quando a válvula está abrindo ocorre o inverso, ou seja, a velocidade de escoamento através dos internos da válvula vai sendo reduzida, enquanto a pressão de saída vai sendo parcialmente recuperada. Mesmo que o obturador da válvula esteja na posição totalmente aberta (válvula globo, por exemplo) a pressão do fluido na tubulação a jusante, será menor que na tubulação a montante, devido ao comportamento dinâmico do fluxo através do corpo e internos da válvula, causando perdas de pressão por atrito.

A velocidade de escoamento na *vena contracta* é inversamente proporcional à pressão, portanto, as válvulas de alta recuperação têm a velocidade de escoamento menor, por isso uma pressão maior, enquanto

nas válvulas de baixa recuperação de pressão, a velocidade de escoamento do fluido é maior, consequentemente, uma pressão menor é conseguida na saída da válvula.

A formação das bolhas ocorre quando a pressão do líquido é reduzida abaixo da **pressão de vapor\*** deste, isto literalmente causa sua ebulição, reduzindo sua capacidade de vazão devido ao maior volume que é ocupado pelas bolhas de vapor em relação ao volume do líquido.

Os danos causados pela cavitação nos internos de uma válvula de controle e tubulação de saída, devido à queda de pressão, ocorrem devido às ondas de choque e gerados pela implosão das bolhas de vapor durante o processo de recuperação de pressão pela válvula, logo após o ponto de *vena contracta*.

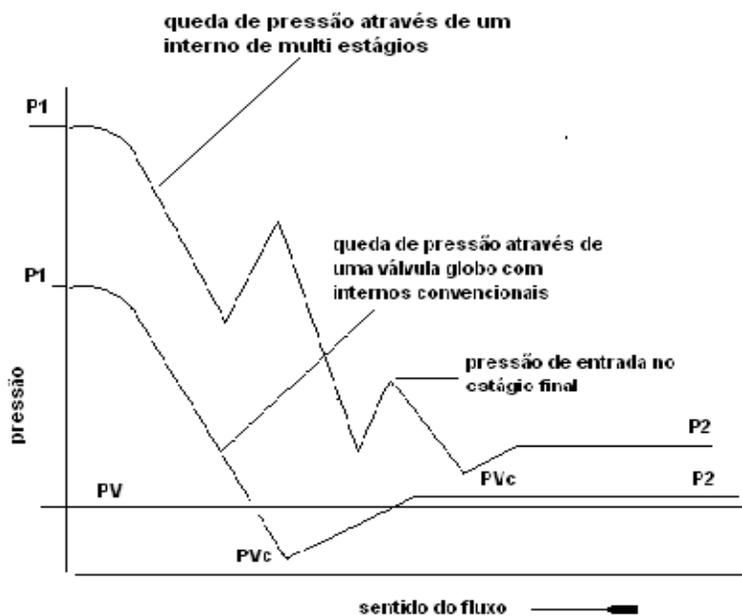
A ocorrência da cavitação pode ser eliminada ou reduzida através das seguintes ações:

- um aumento na pressão a montante;
- uma redução na temperatura do fluido na entrada, pois diminui sua pressão de vapor;
- utilizando uma válvula que proporcione menor recuperação de pressão, através da especificação de internos adequados (reduzidos ou anti-cavitantes);
- diminuindo a queda de pressão através de um aumento no valor de P2, também pode reduzir os danos causados pela cavitação. Quanto maior for o valor de P2, ou menor for o valor da pressão diferencial através da válvula, menores são as chances de ocorrer cavitação.

Cavitação mais severa só pode ser eliminada ou reduzida com a utilização de internos anti-cavitantes, através da especificação correta de válvulas do tipo globo (gaiola) ou esfera. A introdução de ar dentro da corrente do fluxo a jusante ajuda a reduzir as conseqüências da implosão das bolhas, pois a pressão dentro destas podem alcançar aproximadamente 300.000 psi! (21092,59 kgf/cm<sup>2</sup>).

**Nota\*:** A pressão de vapor de um líquido é aquela na qual este líquido e seu vapor estão sempre em equilíbrio numa temperatura com valor definido. Este valor é absoluto e varia de acordo com o tipo de líquido. Ela é a pressão de vapor do líquido na temperatura de entrada.

## 9.1 – Internos Anti-cavitantes



A cavitação pode ser eliminada ou reduzida (nos casos mais severos), com o uso de internos especiais anti-cavitantes. A função desses internos é escalonar a queda de pressão através da válvula em estágios, fazendo com que a pressão de *vena contracta* (PVc) não seja reduzida a um valor inferior à pressão de vapor do líquido que está sendo controlado.

O gráfico na figura ao lado mostra a diferença do comportamento da queda de pressão entre um interno convencional e um interno de multi-estágios:

A queda de pressão por esses internos ocorre em vários estágios até que a pressão a jusante seja conseguida num valor ideal para o processo e sem a ocorrência de cavitação. Esses

internos são formados por diversos furos ou passagens para reduzir a pressão de forma gradativa.

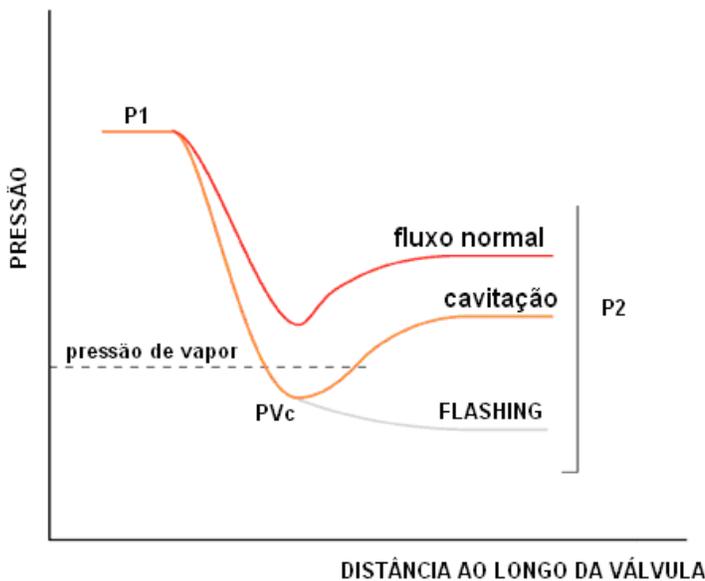
O fluido escoar através da válvula no sentido descendente (fluxo tendendo a fechar), isto é, sobre o obturador e interno da gaiola, para finalmente reduzir a pressão ao valor desejado. As constantes contrações e

expansões do fluxo, em conjunto com as mudanças de direção, reduzem os problemas associados com a cavitação. A energia de pressão é dissipada, enquanto a queda de pressão global é mantida.

O número de estágios para ocasionar a desejada queda de pressão varia de acordo com a potencialidade da cavitação, sendo esta potencialidade maior quanto mais próximo do anel sede estiver o obturador. Isto ocorre, principalmente, quando baixas taxas de fluxo estão envolvidas, ou seja, a válvula está superdimensionada para a aplicação. A capacidade de vazão das válvulas que utilizam esses internos é determinada pelo curso de abertura do obturador e pelo número de orifícios ou passagens. Esses internos têm a função de controlar a conversão de energias (potencial em cinética) que ocorre durante a queda de pressão dentro de cada estágio. Eles permitem tanto que a pressão seja reduzida, quanto seja recuperada no final, para o valor desejado.

## 10 – Flashing

Definido como um fenômeno físico, e de estágio único, no qual bolhas de vapor também são formadas abaixo



da pressão de vapor do líquido, reduzindo a capacidade de vazão efetiva da válvula, porém, neste caso não ocorre a implosão das bolhas de vapor e o fluido segue a jusante da válvula como um fluido bifásico, isto é, líquido e vapor.

A figura ao lado mostra um gráfico de como ocorre a cavitação e o *flashing*:

No *flashing* as bolhas de vapor formadas seguem pela tubulação a jusante após a pressão ter sido recuperada, causando menor vibração e erosão quando comparado com a cavitação. A cavitação é potencialmente mais perigosa do que o *flashing* devido à implosão das bolhas de vapor na parede do corpo, internos e tubulação a jusante.

A condição de *flashing* ocorre quando o valor de P2 for igual ou menor que o valor de PV

(pressão de vapor do líquido), e a pressão diferencial bloqueada (ou crítica) for menor que a pressão diferencial real através da válvula. Quando o valor de P2 for maior que o valor de PV e a pressão diferencial bloqueada for menor que a pressão diferencial real, ocorre a condição de cavitação.

A pressão diferencial bloqueada (ou máxima pressão diferencial admissível) é a máxima pressão diferencial permitida para o cálculo de dimensionamento da válvula, devendo ser limitada a 50% de P1 para as válvulas de movimento linear ou somente 15% (de acordo com o modelo e fabricante) para as válvulas de movimento rotativo, para evitar a ocorrência dos fenômenos de cavitação ou *flashing*. Enquanto a pressão diferencial real é aquela que ocorre sob condições reais no processo durante o controle do fluxo. Para os cálculos de dimensionamento de uma válvula para controle de fluxo deverá sempre ser considerado o menor dos valores entre a pressão diferencial real e a pressão diferencial bloqueada ou admissível. Se a pressão diferencial bloqueada for utilizada nos cálculos de dimensionamento deve ser prevista a utilização de internos revestidos com material duro (Stellite®), ou internos anti-cavitantes, para evitar as consequências do *flashing* ou cavitação, respectivamente, em função da condição de vazão bloqueada.

Os danos causados pelo *flashing* podem ser controlados através de uma limitação na velocidade de escoamento do fluido na saída dos internos da válvula num valor de aproximadamente 500 pés/s (152,4 m/s), além da seleção de materiais corretos para o corpo e componentes internos.

A cavitação e o *flashing* são fenômenos operacionais que ocorrem também nas válvulas de controle no processamento de líquidos, principalmente quando não são dimensionadas e especificadas corretamente.

**Fluxo crítico** – ocorre quando, através da válvula, existe uma relação da queda de pressão para a pressão de entrada ( $\Delta P/P_1$ ) de 0,5 ou maior.

**Fluxo subcrítico** – quando ocorre um aumento na pressão diferencial através da válvula, com um conseqüente aumento na taxa de fluxo, dizemos que este escoamento é denominado de subcrítico. Nestas condições de escoamento existe um relacionamento linear entre a taxa de fluxo produzida através da válvula e a raiz quadrada da pressão diferencial. Este relacionamento deixa de ser linear quando o início da cavitação começa a ocorrer, denominado de cavitação incipiente, ou seja, onde começam a se formar as primeiras bolhas de vapor e que irão influenciar na capacidade de vazão da válvula. Para os fluidos compressíveis essa condição ocorre sob baixa queda de pressão, ou seja, quando o valor de  $P_2$  é superior a 50% de  $P_1$ , influenciando na taxa de fluxo produzida pela válvula.

### Vazão bloqueada

Ocorre quando um aumento na pressão diferencial através da válvula não mais resulta em aumento na taxa de fluxo, ou seja, um aumento na queda de pressão não tem mais qualquer efeito sobre sua máxima capacidade de vazão. Portanto, nenhum fluxo adicional pode passar através da válvula quando o valor de  $P_2$  é reduzido, desde que o valor da pressão a montante ( $P_1$ ) seja mantido, isto é, numa pressão diferencial limitada a taxa de fluxo através da válvula fica estabilizada.

A vazão bloqueada faz com que a vaporização causada no líquido em escoamento, após o ponto de *vena contracta*, reduza sua recuperação de pressão. Com essa vaporização a pressão no ponto de *vena contracta* alcança seu menor valor. Desta forma se a pressão na saída da válvula for adicionalmente reduzida, a tendência é haver uma vaporização maior do líquido não afetando a pressão no ponto de *vena contracta*, conseqüentemente, a máxima capacidade de vazão da válvula é mantida num valor limitado abaixo de sua capacidade de vazão efetiva.

Para os fluidos compressíveis a velocidade sônica (331,46m/s) é sempre alcançada, no ponto de *vena contracta* quando a válvula está operando sob condições de vazão bloqueada, independente do valor da pressão diferencial, seja ele 20 psi ou 1000 psi. Quando essa condição é alcançada durante o escoamento deste tipo de fluido, o valor de  $P_2$  não tem mais influência sobre a capacidade de vazão da válvula. Isto ocorre quando a válvula opera sob alta queda de pressão, ou seja,  $P_2$  é igual ou inferior a 50% de  $P_1$ . Por exemplo, se  $P_1$  for 100 psig e  $P_2$  for 40 psig, a pressão diferencial será de 60 psi, esta é uma condição de alta queda de pressão. Portanto, numa condição de vazão bloqueada um fluido compressível simultaneamente alcança a máxima taxa de fluxo e a velocidade sônica (Mach 1) no ponto de *vena contracta*, quando ele passa pela válvula.

Nas válvulas de controle essa condição de vazão bloqueada depende do tipo de válvula em relação a sua recuperação de pressão, ou seja, se ela é de alta recuperação de pressão ou de baixa recuperação de pressão (esfera ou globo, respectivamente).

Para fluidos compressíveis (gases e vapores) a condição de vazão bloqueada ocorre quando a pressão na saída da válvula ( $P_2$ ) é igual ou menor que o valor encontrado pela fórmula:  $FL^2 \times (0,5 \times P_1)$ . Para fluidos incompressíveis (líquidos) essa fórmula para se encontrar a que pressão a condição de vazão bloqueada irá ocorrer é:  $FL^2 \times (P_1 - P_v)$ . Se o valor de  $P_2$  for igual ou menor que aquele encontrado com esta fórmula, já começa a ocorrer a formação das primeiras bolhas de vapor e que irá causar a cavitação ou o *flashing*, (depende da capacidade de recuperação de pressão da válvula). Nestas fórmulas apresentadas o  $P_1$  é a pressão absoluta a montante da válvula, em psia e  $FL^*$  (adimensional) é o fator de recuperação de pressão da válvula, isto é, ele é a diferença de pressão entre o ponto de *vena contracta* e a pressão recuperada na saída da válvula ( $P_2$ ). O valor do fator  $FL$  varia de acordo com cada modelo e fabricante, além do sentido de escoamento do fluxo através dos internos da válvula. Por exemplo, uma válvula tipo esfera de passagem plena, possui um fator  $FL$  de aproximadamente 0,55, independente do sentido de escoamento do fluxo, pois

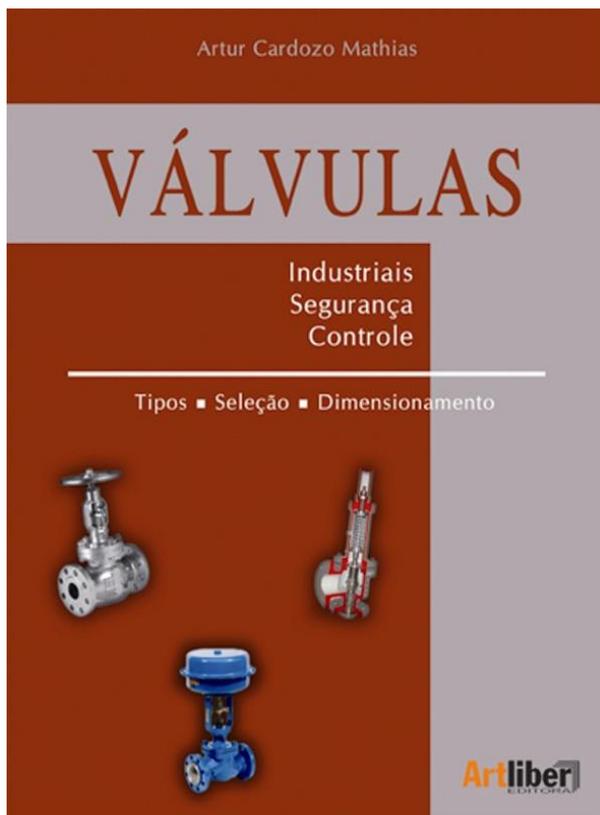
esta é bidirecional, enquanto numa válvula tipo globo, estilo gaiola, este valor é de aproximadamente 0,90 se o fluxo for no sentido tendendo a abrir ou 0,87 se o sentido de fluxo for tendendo a fechar. Seu valor é sempre inferior a 1, pois a pressão de *vena contracta* é sempre inferior ao valor de P2. Se utilizarmos como exemplo a mesma condição operacional para as três válvulas, teremos os seguintes resultados para a pressão diferencial obtida:

- válvula esfera:  $0,55^2 \times (100 - 30) = 21,17$  psi
- válvula globo:  $0,90^2 \times (100 - 30) = 56,7$  psi
- válvula globo 0,87<sup>2</sup> x (100 - 30) = 52,9 psi

Para estes exemplos foi utilizada água a 100 psig na entrada (P1) e numa temperatura de 134,4 °C (a pressão de vapor para esta temperatura é 30 psig.). A temperatura de vapor da água a 100 psig será de 170°C. Se o valor de PVC, durante sua passagem por dentro da válvula, for reduzido para menos de 30 psig, no caso da válvula esfera, começará a ocorrer o início da formação das primeiras bolhas de vapor na corrente do fluxo. Portanto, a condição de vazão bloqueada para esta válvula esfera irá ocorrer se a pressão diferencial for igual ou maior do que 21,17 psi, isto é, a pressão de saída não pode ser menor do que 78,83 psig. A válvula globo cujo fator FL é 0,90 não pode ter uma pressão diferencial igual ou maior do que 56,7 psi, ou seja, a pressão de saída não pode ser menor do que 43,3 psig, e assim por diante. Com estes exemplos podemos verificar que, sob condições de controle de fluxo dentro de um processo industrial, as chances de uma válvula esfera cavitarem são maiores do que numa válvula globo e com uma pressão diferencial menor.

Na maioria das válvulas globo, tipo gaiola (bidirecionais), o valor de **FL** é sempre menor quando o sentido de fluxo é tendendo a fechar. As válvulas esfera e borboleta têm baixos valores de **FL**, significando que estas são válvulas que possuem maior capacidade de converter a velocidade de escoamento do fluido no ponto de *vena contracta* de volta em pressão. Nas válvulas do tipo globo o valor de **FL** é mais próximo de 1, portanto, são válvulas que dissipam energia de pressão com mais facilidade e com isto as possibilidades de ocorrer cavitação durante o controle de fluxo se torna menos provável.

**Nota\*:** FL, este é o fator de fluxo crítico da válvula e varia com o tipo de válvula e fabricante. Ele é a taxa entre o coeficiente de vazão da válvula sob condições críticas e o coeficiente de fluxo como publicado pelos fabricantes.



**Maiores detalhes quanto a este e outros tipos de válvulas utilizados dentro de um processo industrial, o funcionamento, os materiais de construção, as características construtivas, inspeção, sua seleção e especificação, cálculos para o dimensionamento do tamanho correto de acordo com a aplicação, além das principais normas e padrões de construção, podem ser vistos no livro *Válvulas: Industriais, Segurança e Controle*, de Artur Cardozo Mathias, Artliber Editora. Sendo este o livro mais completo sobre o assunto já publicado na América Latina.**

**Sobre o autor:** Artur Cardozo Mathias é técnico mecânico industrial e atua a 30 anos na área de manutenção, especificação, dimensionamento e consultoria em válvulas, tendo ministrado cursos e palestras sobre o tema em Empresas (incluindo fabricantes de válvulas), Universidades e Escolas técnicas.

Dúvidas e comentários podem ser enviados ao e-mail do autor: [dinizmathias@uol.com.br](mailto:dinizmathias@uol.com.br)