

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ALISSON NOGUEIRA AMARAL

CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA
MANUTENÇÃO PREDITIVA EM VÁLVULAS DE
CONTROLE EM INDÚSTRIAS DE PROCESSO

MONOGRAFIA – ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2013

ALISSON NOGUEIRA AMARAL

CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA
MANUTENÇÃO PREDITIVA EM VÁLVULAS DE
CONTROLE EM INDÚSTRIAS DE PROCESSO

Monografia de conclusão do curso de Especialização em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Automação Industrial.

Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel

CURITIBA

2013

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, minha irmã e familiares, meus agradecimentos pelo incondicional incentivo e apoio.

A Deus, pela sabedoria e inspiração.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho”.

(Abraham Lincoln, ...)

RESUMO

AMARAL, Alisson Nogueira. Critérios para Análise de viabilidade para manutenção preditiva em válvulas de controle em indústrias de processo. 2013. 78p. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Programa de Pós-Graduação do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O objetivo deste trabalho é a definição de critérios para avaliação da viabilidade para implantação de técnicas de manutenção preditiva em válvulas de controle em indústrias de processo. Além disso, este trabalho traz uma visão dos conceitos básicos de válvulas de controle, também o conceito de manutenção com foco nestes equipamentos. A partir da análise na literatura especializada, conseguiu-se obter os modos de falha mais frequentes nas aplicações de válvulas de controle. Estes modos de falha foram confrontados com os modos de falha identificáveis pelas técnicas preditivas. Além desta análise, foram estabelecidas classes de válvulas de acordo com sua criticidade e a possibilidade de liberação para manutenção. Estas classes foram analisadas de acordo com as diferentes estratégias de manutenção existentes, inclusive a técnicas preditivas. O resultado desta análise serviu como fundamentação para se estabelecer os critérios de análise de viabilidade de manutenção. Estes critérios podem auxiliar os gestores de manutenção industrial na avaliação das estratégias utilizadas, bem como na análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de novas aplicações das técnicas preditivas.

Palavras-Chaves: Válvulas de controle. Modos de falha. Manutenção preditiva. Viabilidade.

ABSTRACT

Amaral, Alisson Nogueira. Feasibility analysis for predictive maintenance in control valves in process industries. 2013. 78p. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Programa de Pós-Graduação do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The objective of this work is the definition of criteria for evaluating the feasibility of implementation of predictive maintenance techniques for control valves in process industries. Furthermore, this work brings a view of basic concepts of control valves, and maintenance concept with a focus in these equipments.

As from the analysis in the specialized literature, it was possible to get the most frequent failure modes in applications of control valves. These failure modes were confronted with the identifiable failure modes by predictive techniques. In addition to this analysis, it was established classes valve according to their criticality and the possibility for maintenance release. These classes were analyzed according the different maintenance strategies existing, including predictive techniques. The results of these analyzes served as the basis for establishing the criteria, which can help managers of industrial maintenance for evaluating their strategies currently used, as well as to assist in the analysis of technical and economic feasibility for deployment of new applications of predictive techniques.

Keywords: Control valves. Failure modes. Predictive Maintenance. Feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corte de um modelo típico de válvula globo acionada por atuador pneumático.....	24
Figura 2: Foto de gaiola multiestágio aplicada em válvula do tipo globo angular.	25
Figura 3: Corte típico numa válvula de controle do tipo globo angular.....	25
Figura 4: Válvula borboleta e suas principais partes.	27
Figura 5: Corte ilustrativo em atuador pneumático do tipo mola e diafragma.	28
Figura 6: Atuador elétrico aplicado em válvula do tipo guilhotina.....	29
Figura 7: Corte esquemático em atuador elétrico.....	30
Figura 8: Esquema típico de uma malha de controle, com foco no elemento final de controle.	32
Figura 9: Manutenção em válvula esfera, 8 polegadas, 600#, vedação metal-metal.....	35
Figura 13: Erosão causada pela cavitação em válvula globo.....	51
Figura 11: Diagrama de bloco do funcionamento de posicionador inteligente.....	58
Figura 12: Protocolo de comunicação Hart.....	59
Figura 13: Indicadores de condição da válvula.....	61
Figura 14: Objeto metálico incrustado no interior de válvula de controle.....	62
Figura 15: Quebra de haste de válvula borboleta causada por travamento.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Seleção e aplicação de diferentes tipos de válvulas.	22
Tabela 2: Ocorrência de falha na resposta da válvula ao sinal de entrada.	46
Tabela 3: Ocorrência da válvula não se mover para a direção correta.	46
Tabela 4: Ocorrência da válvula não atingir o fim no curso totalmente.	47
Tabela 5: Ocorrência de a válvula ficar instável em operação.	47
Tabela 6: Ocorrência de agarramento da válvula com interrupção do movimento.	48
Tabela 7: Ocorrência do plugue da válvula tender a bater na sede durante o fechamento.	48
Tabela 8: Ocorrência da válvula permitir passagem com o curso totalmente fechado.	49
Tabela 9: Ocorrência da válvula não indicar a posição correta de abertura ou fechamento.	49
Tabela 10: Ocorrência da válvula não conseguir controlar as variáveis de processo.	50
Tabela 11: Ocorrência de a válvula vibrar em operação.	50
Tabela 12: Ocorrência de a válvula apresentar ruído.	50
Tabela 13: Ocorrência do corpo da válvula ou os internos sofrerem erosão acentuada.	51
Tabela 14: Ocorrência de vazamento pelas gaxetas, pelo castelo e pelos flanges.	52
Tabela 15: Modos de falha distribuídos nos componentes da válvula de controle.	53
Tabela 16: Tipos de manutenção para válvulas de diferentes criticidades e condição de liberação.	70
Tabela 17: Matriz de probabilidade versus impacto.	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEMA.....	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.3 PROBLEMA E PREMISSAS	16
1.4 OBJETIVOS	17
1.4.1 Objetivo Geral	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 JUSTIFICATIVA.....	17
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO	19
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 VÁLVULAS DE CONTROLE	21
2.1.1 Válvulas de movimento linear.....	23
2.1.2. Válvulas de movimento rotativo	26
2.1.3 Atuadores para válvulas de controle	27
2.1.4 Posicionador e outros acessórios	31
2.1 MANUTENÇÃO EM VÁLVULAS DE CONTROLE.....	33
2.1.1 Tipos de manutenção	33
2.1.2 Periodicidade.....	34
2.1.3 Locais de trabalho	35
2.1.4 Recomendações para a atividade	36
2.3 BENEFÍCIOS DA PREVENÇÃO ANTES DA FALHA.....	36
2.3.1 Especificação correta.....	37
2.3.2 Locação e instalação correta.....	38
2.3.3 Seleção correta do atuador.....	38
2.3.4 Procedimentos de teste.....	39
2.4 CONCEITO DE FALHA E OS MODOS DE FALHA.....	41
2.5 PROBLEMAS FREQUENTES EM VÁLVULAS DE CONTROLE.....	42
2.5.1 Desvios funcionais.....	43

2.5.2	Desvios operacionais.....	44
3.	ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA.....	45
3.1	Análise de ocorrências.....	45
4.	ANÁLISES PARA VIABILIDADE DA MANUTENCAO PREDITIVA.....	55
4.1	TECNICAS DE MANUTENCAO PREDITIVA PARA VÁLVULAS.....	55
4.1.2	Inspeção preditiva subjetiva.....	56
4.1.3	Posicionador inteligente com diagnóstico <i>on-line</i>	58
4.2	APLICABILIDADE DAS TÉCNICAS PREDITIVAS.....	61
4.3	A CRITICIDADE DAS VÁLVULAS E OS TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	68
4.3.1	A criticidade e a liberação em operação.....	68
4.3.2	A manutenção com foco na criticidade da válvula.....	69
4.4	IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	72
4.4.1	Modos de falha identificáveis.....	73
4.4.2	Criticidade da válvula.....	74
4.4.3	Condição de liberação da válvula em operação.....	74
4.4.4	Probabilidade e impacto da ocorrência de falha.....	75
4.4.5	Custos envolvidos.....	76
5	CONCLUSOES.....	77
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	78
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Dentro das organizações industriais a manutenção assume um papel relevante no aumento da produtividade e da qualidade dos produtos. Pelo fato da manutenção industrial aplicar parte dos recursos financeiros da empresa para consertar e manter a disponibilidade dos equipamentos, antigamente havia-se o paradigma de que a manutenção era apenas uma consumidora, muitas vezes até chamada no linguajar fabril de um “mal necessário”.

Conforme pesquisa da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN), no ano de 1997, com empresas brasileiras, os custos com manutenção impactaram em cerca de 4,5% em média do faturamento anual das empresas. A princípio pode-se pensar que se trata de gastos aplicados que não trazem um retorno direto, porém esta visão já está ultrapassada. Se executada de maneira eficiente, tomando como cenário uma indústria de processos, o aumento na disponibilidade da produção é evidente, como se verifica em publicações e congresso nacionais e internacionais. De acordo com PINTO & RIBEIRO (2002) esta nova visão da manutenção e sua contribuição estão ligadas diretamente ao *core bussiness* da organização.

O enfoque da gestão atual é se de atuar evitando a quebra do equipamento e a perda de produção, ao contrário do paradigma de que a execução de um bom reparo significava sucesso na manutenção (PINTO & RIBEIRO, 2002). O que de fato é uma visão um tanto quanto restrita.

Neste contexto, as indústrias de processo buscam práticas eficientes na manutenção, a fim de melhorar a qualidade da atividade e melhorar a disponibilidade da produção. Dentre os equipamentos que compõem uma planta industrial, destacam-se as válvulas de controle as quais possuem função essencial na produção. Praticamente todos os fluidos existentes numa indústria de processo passam por alguma válvula de controle. Basicamente são responsáveis por restringir ou aumentar a vazão que fluiu pela tubulação. Por serem tão importantes, o bom funcionamento da válvula é essencial para se

manter uma continuidade operacional sem que elas sejam as causadoras de interrupções na produção.

Com a evolução da manutenção como um todo, as técnicas de manutenção aplicadas em válvulas de controle também sofreram alterações. Com o advento da manutenção baseada na condição (PINTO & NASCIF XAVIER, 2001), a qual indica a necessidade de intervenção de acordo com o estado do equipamento houve a oportunidade de aplicação desta técnica também em válvulas de controle.

A chamada manutenção preditiva, embora represente ainda no Brasil apenas 18% do total de recursos aplicados na manutenção (PINTO & NASCIF XAVIER, 2001), já possui resultados consolidados em aplicações em diversos equipamentos mecânicos rotativos e estáticos, equipamentos elétricos de potência, equipamentos elétricos de proteção e controle.

De maneira recente, as aplicações de técnicas de manutenção preditiva em válvulas de controle vêm ganhando espaço nas indústrias de processo. Os relatos no meio industrial através dos resultados demonstram a eficácia das técnicas preditivas.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Dentre os equipamentos industriais, as válvulas de controle possuem destaque por sua importância por serem os elementos finais de controle, os quais fazem a interface entre os sinais de controle e o fluido de processo. Logo, manter a disponibilidade em operação destes elementos também tem importância equivalente.

Existem técnicas que propõem o diagnóstico a condição operacional, com a possibilidade de previsão de ocorrência de falhas. Desta forma este trabalho abordará as noções básicas de válvulas de controle, conceitos e aspectos relacionados à manutenção em válvulas, a prevenção de falhas em válvulas, assim como trará uma apresentação das técnicas preditivas aplicáveis e suas funcionalidades. Em seguida, será apresentada uma análise

de viabilidade para aplicação destas técnicas nas indústrias de processo. Ela será baseada numa correlação entre as proposições das funcionalidades destas técnicas com as ocorrências do cenário industrial, relatadas pelos autores especializados em válvulas de controle.

1.3 PROBLEMA E PREMISAS

Dentre as modalidades de manutenção industrial, nota-se que a manutenção preditiva nas válvulas de controle tem ganhado um espaço significativo no ambiente industrial. Desde a década de 1990 as técnicas já eram conhecidas, porém a partir de 2000 foi verificado um impulso nas aplicações, possivelmente devido o avanço tecnológico dos posicionadores de válvulas. Todavia, nota-se que ainda são recentes as publicações no ambiente acadêmico sobre do tema. Existe considerável produção de conhecimento, porém grande parte produzida no meio industrial ou restrita aos próprios fornecedores das tecnologias. Neste contexto, surge o questionamento sobre quais premissas podem ser utilizadas quando da decisão da utilização das técnicas de manutenção preditiva no ambiente industrial. Outras questões de interesse são relacionadas à importância da manutenção preditiva frente às outras estratégias de manutenção já frequentemente utilizadas: corretiva e preventiva. Outro ponto a ser abordado seria quanto aos modos de falhas que são detectados efetivamente pelas principais técnicas preditivas disponíveis no mercado. Assim, se poderia também questionar: quais seriam os critérios técnicos a serem utilizados para aplicação das técnicas de manutenção preditiva em válvulas de controle?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Identificar os critérios técnicos para avaliação da viabilidade da aplicação de técnicas de manutenção preditiva em válvulas de controle, tendo em vista o cenário das indústrias de processo.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Descrever os funcionamento e aplicações para os principais tipos de válvulas de controle.
- Apresentar as premissas básicas de manutenção com foco em válvulas de controle.
- Analisar os principais problemas ocorridos com válvulas de controle, identificando seus respectivos modos de falha.
- Estudar as técnicas de diagnósticos para detecção de falhas em válvulas de controle.
- Avaliar as diversas estratégias de manutenção em válvulas de controle frente à criticidade e possibilidade de liberação em operação no processo produtivo.
- Identificar os critérios técnicos a serem utilizados para uma análise de viabilidade técnica da implantação das técnicas preditivas.

1.5 JUSTIFICATIVA

As técnicas de manutenção preditiva possuem no meio industrial um espaço que vem se difundindo tanto quanto as aplicações quanto aos próprios

resultados. É importante trazer para o meio acadêmico a discussão das suas funções como ferramenta técnica, bem como suas contribuições dentro de todo o contexto da manutenção industrial.

Este trabalho tem por finalidade disseminar as premissas/conceitos da manutenção focada em válvulas de controle, principalmente com a visão dos principais modos de falhas ocorridos com estes equipamentos. Outra finalidade do trabalho é também auxiliar nas tomadas de decisão dos profissionais e gestores da manutenção que trabalham com válvulas de controle.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de atender os objetivos, será utilizada a pesquisa científica descritiva e qualitativa para identificação dos critérios de análise da viabilidade técnica da implantação de técnicas preditivas de manutenção em válvulas de controle.

O trabalho possui classificação como pesquisa científica aplicada explicativa, de acordo com o Manual de Frascati (OECD, 2007, p. 106), pois consiste como objetivo a apresentação dos conceitos básicos de válvulas de controle, da manutenção aplicada a estes equipamentos, bem como dos conceitos de modo de falha e dos problemas frequentes ocorridos com as válvulas de controle de acordo com a literatura especializada. Este estudo possibilitará a realização das análises pertinentes no decorrer do trabalho.

Esta pesquisa descritiva possui divisão em três fases: (i) pesquisa com base nas referências teóricas e; (ii) análise para identificação dos critérios para viabilidade, (iii) apresentação dos resultados contendo os comentários finais.

1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Este trabalho está fundamentado da seguinte forma. Os conceitos de válvulas aplicadas em controle estão baseados em Mathias (2008). Os conceitos gerais de manutenção, e especificamente da manutenção preditiva foram embasados em Pinto & Ribeiro (2002) e em Pinto & Nascif Xavier (2001). Os conceitos de modos de falha foram apresentados de acordo com Siqueira (2005) e a parte referente aos problemas ocorridos com válvulas de controle estão conforme Borden & Friedmann (1998).

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será composto por seis partes. A primeira parte corresponde a Introdução - Capítulo 1 e contem o tema, problema, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e embasamento teórico.

Na segunda parte, Fundamentos Teóricos, correspondente ao Capítulo 2. Neste capítulo são apresentados os conceitos de válvulas de controle, de manutenção em válvulas de controle, da importância da prevenção das falhas em válvulas de controle, assim como os conceitos de falha e modos de falha e os principais problemas ocorridos com estes equipamentos.

Na terceira parte, no Capítulo 3, é realizada uma análise para identificação dos principais modos de falha, a partir das principais ocorrências de problemas relacionados com válvulas de controle, de acordo a literatura apresentada no Capítulo 2.

Na quarta parte do trabalho, no Capítulo 04, são apresentadas as principais técnicas de manutenção preditiva em válvulas de controle. Faz parte deste Capítulo também à análise das estratégias de manutenção, e também a identificação dos critérios de viabilidade para implantação das técnicas preditivas.

A quinta parte do trabalho apresenta os resultados e considerações finais.

Por fim, a sexta parte são apresentados as Referências Bibliográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos necessários para a compressão do tema, bem como para embasar as análises realizadas posteriormente.

2.1 VÁLVULAS DE CONTROLE

De acordo com MATHIAS (2008), as válvulas são equipamentos utilizados no processo industrial com a função de bloquear, direcionar, restringir a pressão de entrada, controlar a pressão de saída de determinado equipamento ou proporcionar que o fluido escoe num único sentido.

Dentre as características importantes das válvulas pode-se citar:

- Baixo custo (na maioria das aplicações).
- Vedação estanque.
- Pequena interferência no escoamento do fluido (perda de carga reduzida).
- Controle preciso de fluxo (perda de carga alta).
- Operam em amplas faixas de temperaturas, pressões e vazões.
- São fabricadas, dependendo da aplicação, de diferentes materiais, sobretudo aços e suas ligas.
- Operam com fluidos gasosos, líquidos (inclusive viscosos, abrasivos, corrosivos).
- Podem ter diferentes tipos de conexões: flangeadas, roscadas, soldadas e outras especiais.

As válvulas são imprescindíveis para as indústrias de processo e há diversas opções para seleção, dependendo da necessidade da aplicação. A Tabela 1 mostra diferentes tipos de válvulas para diversas aplicações.

Tabela 1: Seleção e aplicação de diferentes tipos de válvulas.

Tipos de válvulas	Bloqueio de fluxo	Controle de fluxo	Acionamento rápido	Operações frequentes	Passagem plena	Prevenção de fluxo	Alta pressão diferencial	Alívio de pressão	Fluidos viscosos
Gaveta	x				x		x		
Globo		x		x			x		
Retenção					x	x			
Guilhotina	x	x	x	x					x
Diafragma	x	x	x	x					
Mangote	x	x	x	x					x
Esfera	x	x	x	x			x		x
Borboleta	x	x	x	x					x
Macho	x	x	x		x		x		x
Segurança								x	
Controle			x	x			x		

Fonte: Mathias, 2008, pág. 14.

Para MATHIAS (2008), a função da válvula é que irá determinar a sua seleção. A seleção contempla o tipo conforme o fluido, a vazão e a pressão desejada. Existem diferentes configurações de corpo de válvulas, e cada qual com sua função dentro do processo e com os diversos fluidos na qual a válvula pode ser aplicada.

MATHIAS (2008) faz uma divisão estas válvulas em quadro grupos:

- Bloqueio: destinadas a realizar a restrição completa ao escoamento do fluido.
- Retenção: permite o escoamento do fluido num único sentido, Quando houver a reversão do sentido do fluxo, esta fechará automaticamente.
- Alívio de pressão: são válvulas de atuação mecânica, autossuficientes e usadas para o alívio de pressão do equipamento. Tem função de protegê-lo de uma condição perigosa de aumento de pressão que possa danificar sua integridade.
- Controle: são válvulas que permitem uma restrição variável a passagem do fluido, de acordo com taxa requerida para controle da variável de processo. Proporcionam elevada queda de pressão e podem ser

manuais ou automáticas. Geralmente são os elementos finais de uma malha de controle.

Como este trabalho é focado em válvulas de controle, é pertinente apresentá-las com mais detalhes. Na Tabela 1 se vê que alguns tipos de válvulas são mais indicadas para a função de controle. São divididas em duas categorias com relação ao movimento de seu obturador: linear ou rotativo. As válvulas do tipo globo (movimento linear), borboleta e esfera (movimento rotativo) são utilizadas com muita frequência em aplicações importantes dentro das indústrias de processo.

Desta forma, para um bom entendimento das análises presentes nos capítulos posteriores é necessário uma abordagem mais detalhada destes tipos de válvulas. Mais adiante se fará também uma apresentação dos principais tipos de atuadores e acessórios usados em válvulas de controle por acionamento automático.

2.1.1 Válvulas de movimento linear

As válvulas globo são um dos tipos de válvulas de movimento lineares muito utilizadas para controle de processo. Nela, um obturador (ou também chamado *plugue*) acoplado numa haste se move linearmente em relação a sede vedação. Neste tipo de válvula, na maioria das vezes, o fluxo entra pela parte inferior do obturador, o que torna mais fácil a abertura e mais difícil o fechamento. Elas possuem como característica um bom controle de fluxo e boa estanqueidade, depende de sua classe de vedação. A classe de vedação é a característica definida pela Norma ANSI/FCI 70.2 que diz sobre seis classes de vedação possíveis para válvulas de controle, conforme seu projeto e tipo de sede.

A Figura 1 mostra uma válvula linear do tipo globo com atuador pneumático e seus principais componentes.

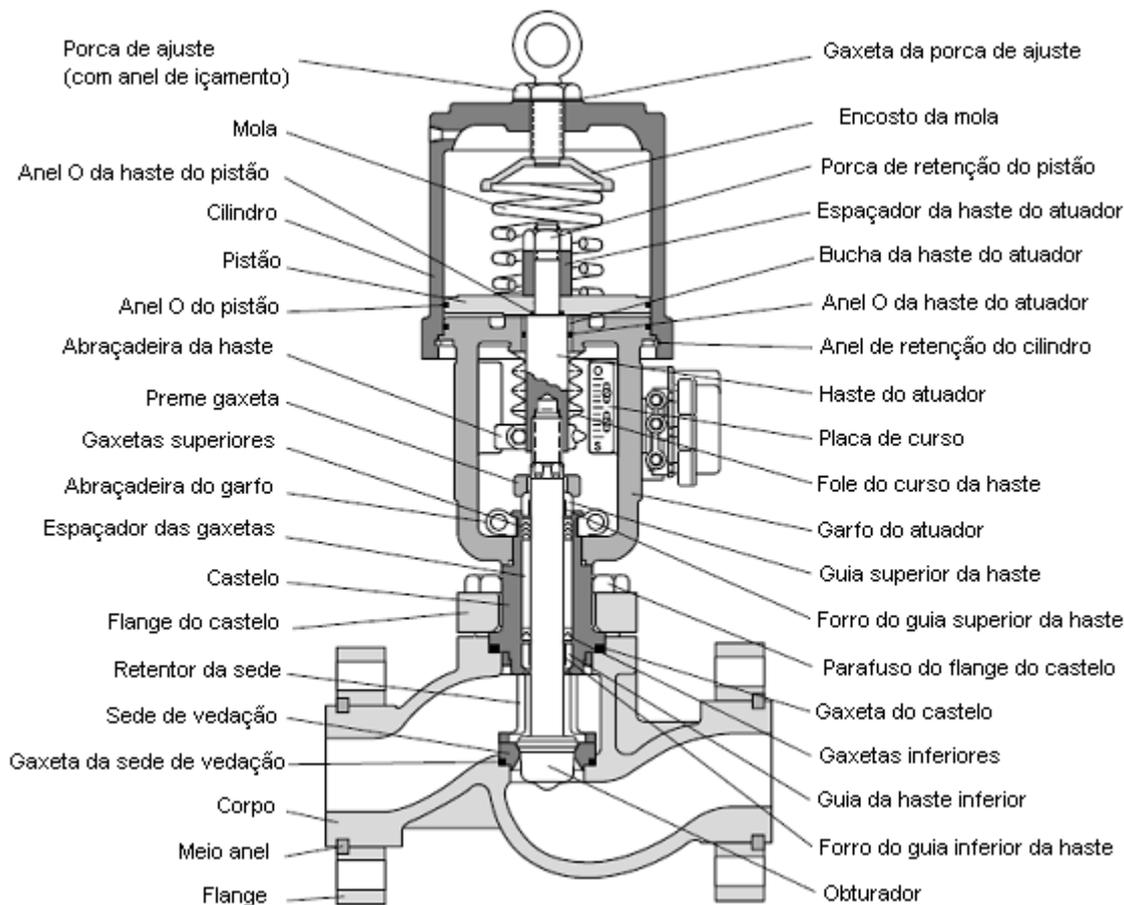


Figura 1: Corte de um modelo típico de válvula globo acionada por atuador pneumático. Fonte: Adaptado de API, 1998).

A Figura 1 acima mostra uma válvula do tipo globo sede simples. Porém a válvula de movimento linear também pode ser também de: sede dupla, gaiola, três vias ou diafragma.

As válvulas globo gaiola possuem uma bucha que orienta o obturador axialmente em relação à sede no curso de acionamento. Ela proporciona estabilidade e diminuir movimentos laterais do obturador, vibrações e ruídos, sobretudo em altas pressões. A Figura 2 mostra esta bucha, mais conhecida como gaiola. Nela a gaiola possui multiestágios a fim de reduzir gradativamente a velocidade de saída na válvula.

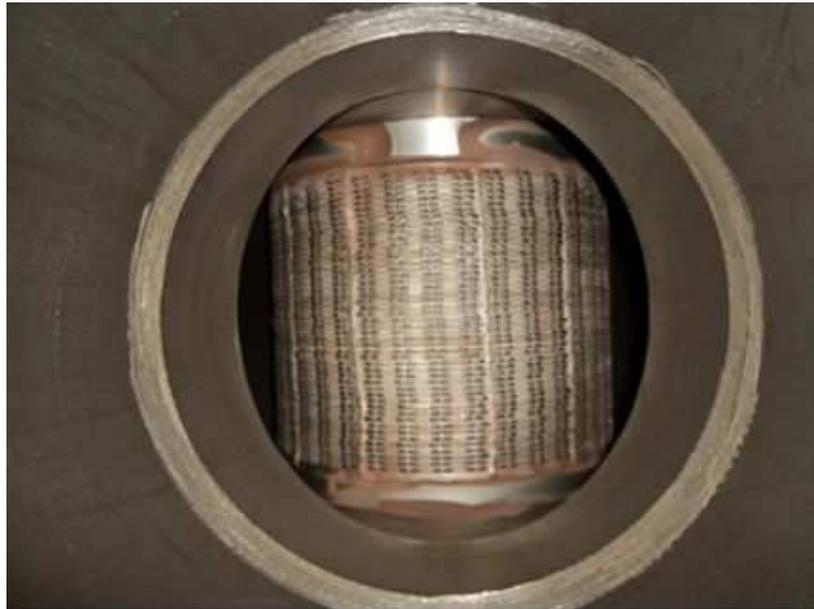


Figura 2: Foto de gaiola multiestágio aplicada em válvula do tipo globo angular.
Fonte: Autoria própria.

Quanto ao corpo de uma válvula globo ela pode ser de passagem reta ou angular. Nessas válvulas o ângulo entre a vazão de entrada e a de saída é de 90 graus, conforme mostra a Figura 3.

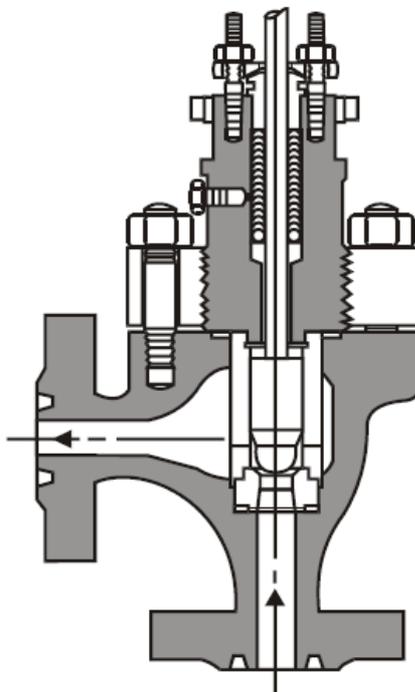


Figura 3: Corte típico numa válvula de controle do tipo globo angular.
Fonte: ANSI/ISA-75.05.01-2000, (2005)

A válvula mostrada na Figura 3 é indicada para fluidos pesados por oferecer um melhor escoamento ao fluxo.

Segundo Mathias (2005) são características construtivas das válvulas de movimento linear:

- Configuração do corpo proporciona escoamento turbulento;
- Baixa recuperação de pressão;
- Controle de pequenas taxas de pressão;
- Diversos projetos de internos;
- Aplicações em altas quedas de pressão;
- Conexões flangeadas, roscadas ou soldadas;
- Castelo separado do corpo.

2.1.2. Válvulas de movimento rotativo

Neste tipo de válvula, o elemento móvel de vedação e controle gira sobre o seu próprio eixo, em referência a sede, e também ao sentido de escoamento do fluido. Elas podem ser: esfera, borboleta, segmento esférico e obturador excêntrico.

Nas válvulas esfera o fluido passa por dentro do obturador, que é a própria esfera. Já nas válvulas borboleta, o fluido passa em torno do obturador, também chamado de disco da borboleta, formando dois orifícios para a passagem do fluido. Ela pode possuir sede para vedação ao não. Quando possui sede, ela fica disposta no diâmetro interno do corpo da válvula. A válvula borboleta foi a primeira válvula rotativa a ser disponibilizada no mercado em 1930. A Figura 4 mostra de forma simples, uma válvula borboleta, explicitando suas principais partes: o corpo, o disco e a haste.

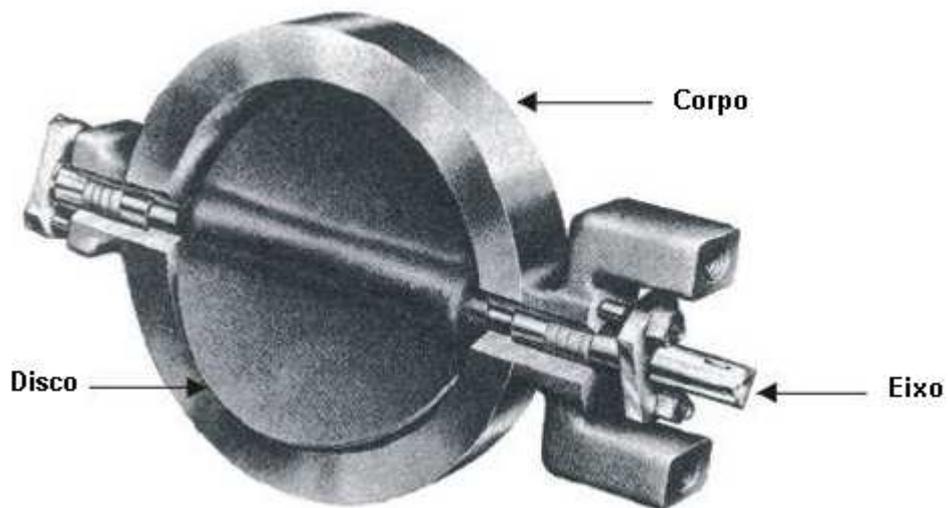


Figura 4: Válvula borboleta e suas principais partes.
Fonte: (ANSI/ISA-75.05.01-2000, 2005)

MATHIAS (2008) aponta também as principais características construtivas das válvulas rotativas:

- Passagem plena do fluido.
- Alta recuperação de pressão.
- Maior capacidade de vazão.
- Menor desgaste do engaxetamento.
- Adequadas para fluidos pesados e abrasivos.
- Castelo integral ao corpo.
- Baixo peso.

2.1.3 Atuadores para válvulas de controle

São dispositivos que produzem uma força motriz suficiente para movimentar o obturador da válvula de acordo com o sinal de controle recebido de um controlador ou posicionador. Tal força deve ser necessária para vencer a pressão exercida pelo fluido, bem como para manter a estanqueidade entre o obturador e a sede.

Os tipos de atuadores mais utilizados em válvulas de controle são os pneumáticos do tipo mola e diafragma, pneumático do tipo pistão (simples ou dupla ação), elétrico, eletro hidráulico e manual.

Os pneumáticos do tipo mola e diafragma são acionados por ar comprimido, provenientes geralmente de um controlador ou de um posicionador. São bem simples, versáteis e econômicos. Por isso são os mais utilizados. Eles possuem duas posições quando da ocorrência de falha por falta de alimentação de ar: falha abre ou falha fecha. Esses modos dependem da construção e da posição da mola em relação ao diafragma. A Figura 5 mostra em detalhes esse tipo de atuador. Neste caso a posição de falha do atuador é falha fecha.

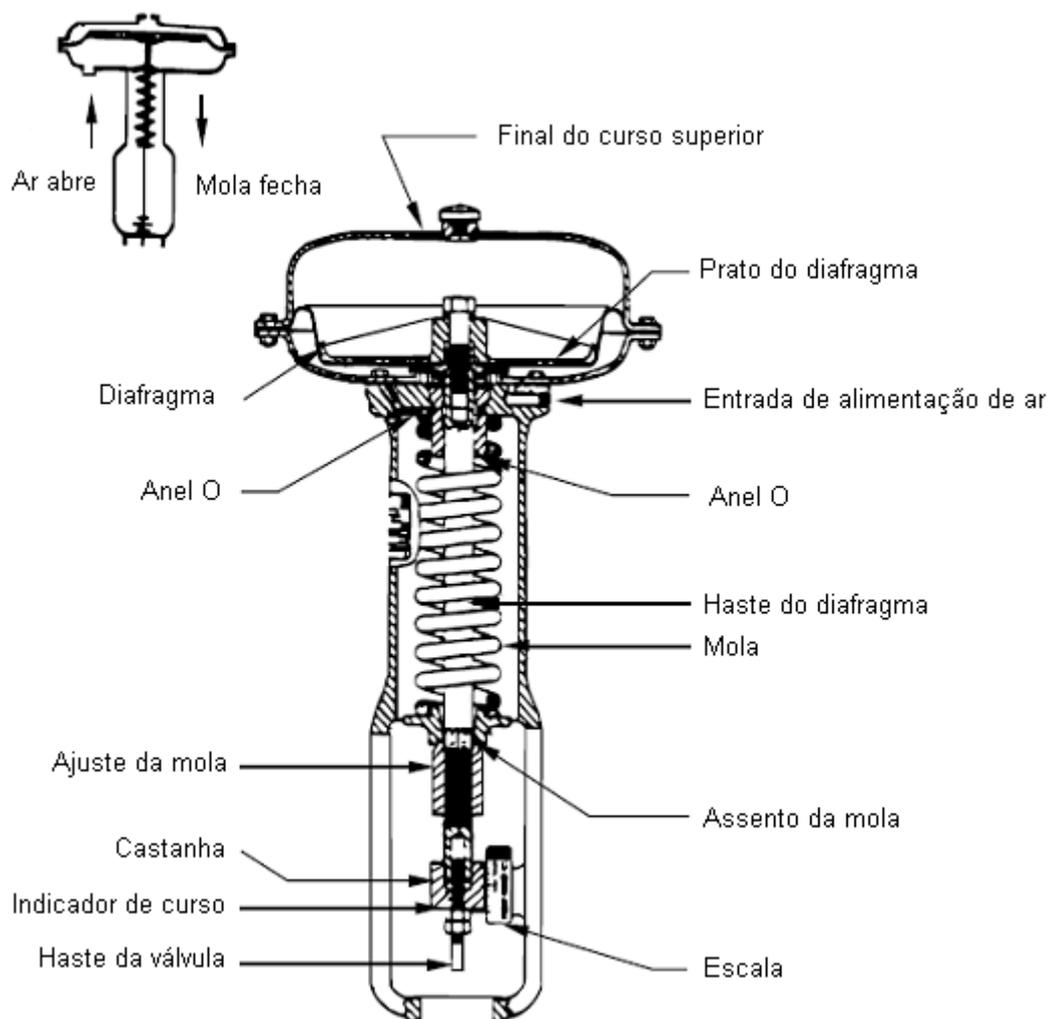


Figura 5: Corte ilustrativo em atuador pneumático do tipo mola e diafragma.
Fonte: Adaptado de API, (1998)

De acordo com Mathias (2005), são vantagens dos atuadores do tipo mola e diafragma: baixo custo, simplicidade, possibilidade de posição por falha, fácil manutenção e ajustes, resposta rápida, uso em áreas classificadas, dentre outras. Como desvantagens o autor cita: possuem força e torque limitados, pequenos cursos do obturador e aplicações limitadas a temperaturas suportadas pelo material do diafragma, geralmente não devendo ultrapassar os 100 graus.

Outro tipo de atuador amplamente utilizados em válvulas de controle na indústria de processo são os atuadores elétricos. Eles têm um torque de abertura ou fechamento, superior aos atuadores pneumáticos. Eles recebem um sinal de controle elétrico, em tensão ou corrente e posicionam o obturador na posição deseje. Atuam, sobretudo no controle *on-off*, entretanto atualmente já existem aplicações para controle regulatório. A Figura 6 mostra um atuador elétrico aplicada em válvula do tipo guilhotina.



Figura 6: Atuador elétrico aplicado em válvula do tipo guilhotina.
Fonte: Biblioteca de imagens, fabricante Rotork.

O autor Mathias (2005) aponta como vantagens dos atuadores elétricos, a possibilidade de aplicações em locais remotos e também a estabilidade

dinâmica do movimento. Todavia, tem como desvantagem o alto custo de aquisição, a resposta mais lenta e a necessidade de utilização de acessórios opcionais para se ter uma posição de segurança em caso de falha.

A Figura 7 mostra um corte esquemático num atuador elétrico do fabricante Rotork. Nela pode se perceber os seus principais elementos: *display*, eletrônica, motor elétrico, volante manual, caixa de engrenagens e bucha de acoplamento com a haste da válvula.

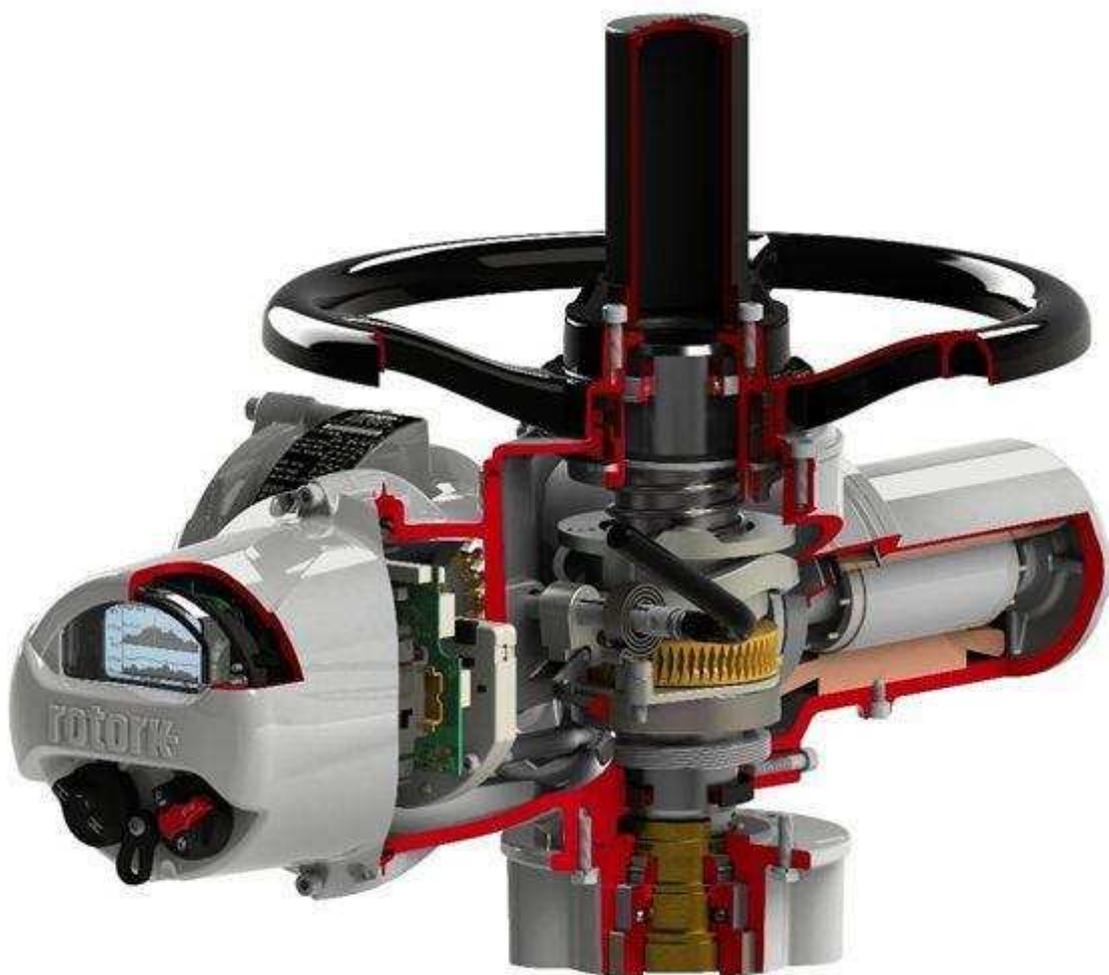


Figura 7: Corte esquemático em atuador elétrico.
Fonte: Biblioteca de imagens, fabricante Rotork)

2.1.4 Posicionador e outros acessórios

O posicionador é um importante acessório montado na maioria das válvulas de controle acionadas por atuador pneumático. Ele transmite ao atuador uma pressão de ar a fim de posicionar de forma correta o obturador, de modo que seja obedecido o sinal de comando sem que a posição sofra influências das forças dinâmicas do fluido, das forças de atrito ou das forças referente ao engaxetamento da haste.

Segundo Mathias (2005), o posicionador faz a comparação entre o sinal de controle da posição requerida e a posição real do obturador em relação ao curso da válvula. Assim, o posicionador ajusta através de pressão de ar enviada para a câmara do diafragma do atuador, fazendo com que a posição seja corrigida caso necessário.

Existem basicamente 03 tipos de posicionador:

- Pneumáticos: recebem sinal de comando em ar comprimido.
- Eletropneumáticos: recebem sinal de comando em corrente (4~20 mA).
- Eletrônicos: recebem sinal de comando em corrente (4~20 mA) e possuem recursos de integração e comunicação com sistemas modernos de supervisão e controle, podem operar com protocolos comunicação tais como *Hart (Highway Addressable Remote Transducer)* e *Fondation FieldBus*.

Para o objetivo de trabalho este último tipo de posicionador possui as características que devem ser detalhadas. No capítulo 4, onde são abordadas as técnicas para manutenção preditiva para válvulas de controle, pode ser observado o funcionamento do posicionador eletrônico (também chamado inteligente) e quais recursos presentes nesses dispositivos podem auxiliar na manutenção preditiva em válvulas de controle.

Além do posicionador, de acordo com Borden & Friedmann (1998), compõem os acessórios das válvulas de controle:

- Chave de posição: é um dispositivo montado no atuador para gerar um sinal elétrico quando o fim ou início do curso é atingido.

- Válvula reguladora de pressão: é um dispositivo usado para limitar a pressão de ar que alimenta o atuador ou os acessórios, de modo a evitar que uma sobrepressão danifique-os.
- Transmissor de posição: é um dispositivo que fornece um sinal contínuo, geralmente 3 a 15 psi (em pressão de ar) ou 4 a 20 mA (em corrente elétrica), os quais serão proporcionais a posição da válvula ao longo do curso. Podem ser incorporados no posicionador ou aplicados separadamente.
- Válvula solenóide: são válvulas que podem ser usadas para ventar ou pressurizar ao atuador da válvula de controle, independentemente do sinal de controle.
- *Boosters*: são dispositivos usados para aumentar a vazão de ar para o atuador. Pode ocorrer dos posicionadores ou controladores não fornecerem vazão suficiente de ar para o atuador ter a velocidade de curso desejada.

A Figura 8 mostra um esquema de uma válvula de controle acionada por atuador pneumático e alguns acessórios que compõe a malha de controle.

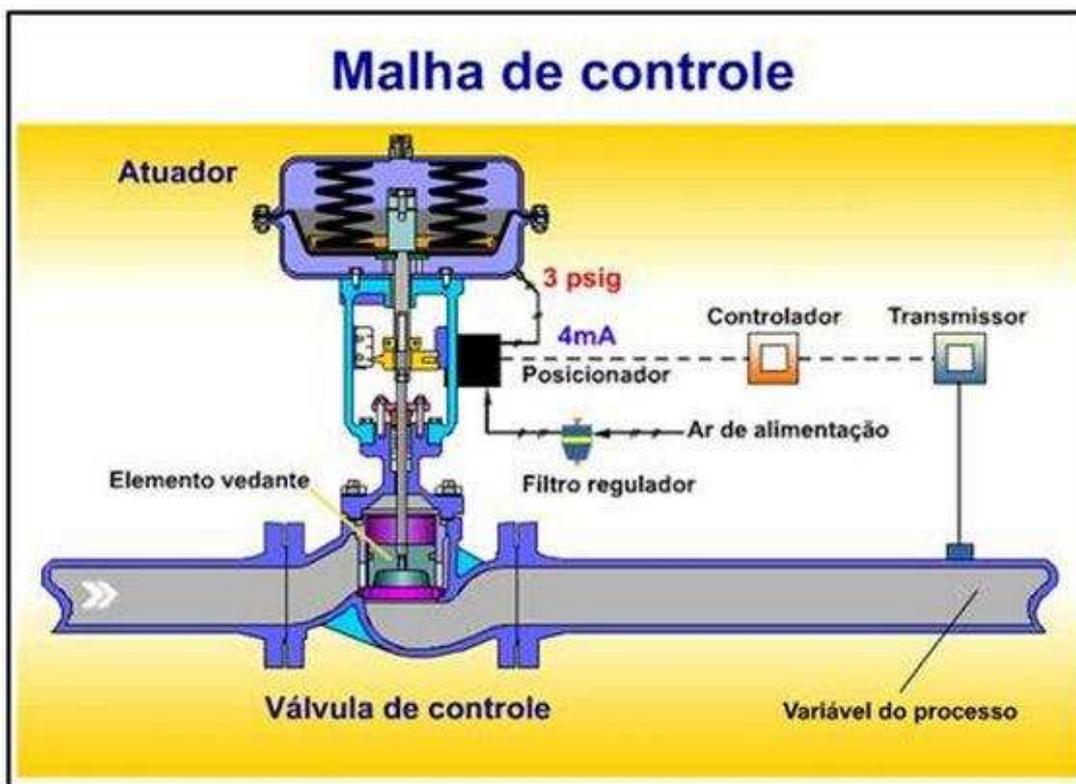


Figura 8: Esquema típico de uma malha de controle, com foco no elemento final de controle.
Fonte: Artigo Posicionadores e diagnósticos, fabricante Smar.

2.1 MANUTENÇÃO EM VÁLVULAS DE CONTROLE

De acordo com Borden & Friedmann (1998), a filosofia de manutenção em válvulas de controle é similar a outros equipamentos mecânicos. Deve ser feita por pessoas treinadas e com capacitação para a atividade. Antes do reparo é imprescindível que as partes sobressalentes e o projeto da válvula, folha de dados e outros documentos importantes estejam disponíveis. A assertividade de uma manutenção em válvulas de controle deve ser a maior possível. Um retrabalho, muitas vezes, pode significar atrasos na partida de planta, ou até mesmo a parada de produção de toda uma planta para refazer a manutenção.

2.1.1 Tipos de manutenção

A decisão de como realizar a manutenção na válvula envolve muitos aspectos, principalmente o econômico. O momento para a intervenção pode variar de acordo com a estratégia adotada por cada empresa. Muitas empresas optam em realizar a manutenção corretiva, seja ela planejada ou não. Seja qual for a estratégia de manutenção adotada, se terá vantagens e desvantagens. Cabe aos gestores da manutenção dentro da indústria estabelecer uma estratégia que pautar tanto os custos de manutenção quanto a continuidade operacional.

Embasado em Pinto & Nascif Xavier (2001), se verifica que os tipos principais de manutenção cuja aplicação é pertinente em válvulas de controle são:

- Manutenção corretiva não planejada: trata-se uma intervenção para correção da falha ou de um desempenho aquém do desejado do equipamento. Todavia esta correção é feita de maneira aleatória.
- Manutenção corretiva planejada: também se trata da correção da falha ou redução de desempenho no equipamento, contudo definida por

decisão gerencial, ou seja, em função de acompanhamento por manutenção preditiva ou decisão de manter em operação até a quebra.

- Manutenção preventiva: trata-se da intervenção realizada de maneira a diminuir ou evitar a falha do equipamento, conforme um plano elaborado previamente com base em intervalos de tempo definidos.
- Manutenção preditiva: é a intervenção realizada baseada em modificações de parâmetros condicionais ou de desempenho do equipamento, de forma sistemática. O acompanhamento da preditiva pode ser de duas formas. Por monitoramento subjetivo, o qual é realizado de forma não intrusiva, baseada na inspeção sensorial da válvula, onde se observa, por exemplo: corrosão externa, vazamentos de ar, vazamento de fluidos, ruídos anormais, dentre outras situações. A outra forma é por monitoramento objetivo, que é realizado com base em medições com uso de equipamentos e instrumentos especiais, tais como termômetros infravermelhos, cromatográficos, sensores de vibração, etc.

2.1.2 Periodicidade

O momento de realizar a manutenção em válvulas de controle dependerá da estratégia de manutenção adotada e da oportunidade para a realização. De forma geral pode ser:

- Em operação: O serviço fica condicionado a liberação da válvula para intervenção, podendo haver a necessidade de remoção para oficina ou não.
- Em paradas de manutenção programadas: Existe maior liberdade para efetuar a intervenção tendo em vista que o processo industrial está parado. O serviço pode também ser realizado em campo ou em oficina dependendo da necessidade.

2.1.3 Locais de trabalho

Dentro de uma indústria de processo é recomendado se ter uma estrutura tanto de pessoal (mecânicos de válvulas e instrumentistas), bem como uma estrutura física de manutenção, com bancadas de calibração e reparo, capazes de atender as necessidades das válvulas a serem reparadas.

De acordo com Borden & Friedmann (1998), a empresa pode optar em realizar a manutenção:

- No campo ou oficina com empregados próprios;
- No campo ou oficina com empregados terceiros;
- Contrato com oficinas externas;

Ressalta-se que a decisão do local mais indicado depende de vários fatores e deve ser uma decisão embasada em aspectos técnicos e gerenciais, de forma que permita que as atividades sejam feitas com qualidade e de forma ágil.

Na Figura 12 é mostrada a etapa de lapidação de válvula esfera, atividade realizada em oficina externa especializada.



Figura 9: Manutenção em válvula esfera, 8 polegadas, 600#, vedação metal-metal.
Fonte: Autoria própria.

2.1.4 Recomendações para a atividade

Alguns importantes pontos devem ser lembrados na ocasião da manutenção nas válvulas de controle: realizar a intervenção com pessoal com experiência e qualificado para a atividade, ter a disposição as partes sobressalentes necessárias para executar a manutenção; obedecer aos procedimentos da execução das atividades; obedecer aos procedimentos de segurança para as atividades; gerar relatório das atividades realizadas, consultar históricos da manutenção anteriores na válvula; caso seja necessário realizar alterações de projeto durante a manutenção, sempre consultar o fabricante; ter disponíveis os desenhos, manuais e folhas de dados atualizados.

2.3 BENEFÍCIOS DA PREVENÇÃO ANTES DA FALHA

De acordo com Borden & Friedmann (1998), a experiência mostra que dois grandes problemas associados com válvulas de controle são: a especificação incorreta e práticas de instalação inadequada.

No comissionamento das indústrias de processo pode ser uma surpresa desagradável, descobrir problemas em válvulas de controle. Desta forma os *starts up* sofrem atrasos, os reparos nas válvulas custam caros ou até mesmo podem ser impossíveis de serem feitos. É melhor, antes, gastar um tempo razoável com a especificação, locação e instalação das válvulas de controle com bastante critério do que passar por problemas mais tarde.

2.3.1 Especificação correta

Existem normas consolidadas que para o dimensionamento e seleção de válvulas como, por exemplo, as normas ANSI / ISA da serie 75. Periodicamente estas normas são revisadas e adaptadas ao surgimento de novas tecnologias. O dimensionamento se feito com base nestas normas para evitar posteriores problemas.

Segundo Borden & Friedmann (1998), umas das maiores causas de problemas é o sobre dimensionamento, causado pela especificação com muitas margens de segurança. Geralmente, as perdas de carga nas tubulações são sobre estimados, a seleção de bombas podem gerar uma pressão maior que a projetada e excesso de vazão na tubulação também podem ocorrer. Nestas condições pode ocorrer tanto um aumento na queda de pressão na válvula quanto um aumento da vazão. Desta forma a válvula, ora projetada para uma operação em condição com uma margem definida, passa a operar fora da região ótima de controle. Umas das consequências do sobre dimensionamento em válvulas globo é o fenômeno conhecido com "*chattering*". Ele ocorre quando há o martelamento do plugue na superfície da sede, devido a válvula operar muito restringida, entre 5 e 10% do curso, por exemplo. Portanto quanto mais fidelidade houver sobre a real condição de vazão, melhor será a seleção da válvula.

Ainda de acordo com Borden & Friedmann (1998), é importante também selecionar corretamente o tipo de interno da válvula, considerando o tamanho, tipo, característica e classe de vedação. Uma sobre especificação pode não apenas trazer problemas para a instalação posteriormente, mas também elevar o custo de aquisição da válvula. Por exemplo, se aplicarmos uma válvula com classe de vedação V, de acordo com norma FCI-70-2, em uma aplicação que requer uma passagem tal como permite uma válvula, com classe III e classe IV, os custos com a aquisição da válvula serão maiores, bem como se aumentara também os custos posteriores com manutenção. De acordo, com a experiência industrial percebe-se que válvulas com classe de vedação IV, principalmente, do tipo borboleta, são mais suscetíveis a agarramento no corpo, por exemplo.

Logo, a correta especificação pode ser a chave fundamental para evitar problemas posteriores em operação. A aplicação de margens de segurança na especificação também pode levar a exageros que também podem refletir em potenciais problemas.

2.3.2 Locação e instalação correta

Ainda de acordo com Borden & Friedmann (1998), pelas observações obtidas em experiência de campo, devem ser tomadas algumas precauções com relação a locação e instalação das válvulas de controle. Devem ser observadas as curvas das tubulações, presença de válvulas de bloqueios e outras obstruções na tubulação, as quais afetam a dinâmica do fluido do processo. Outro fator importante levantado pelo autor, a instalação da válvula de controle deve considerar o acesso para realizar o *start up* e ajustes eventuais. A preocupação com a instalação tende a evitar que surja inconvenientes no momento da manutenção, como a dificuldade de içamento dos atuadores e outras partes pesadas da válvula que necessitem ser removidas da tubulação.

2.3.3 Seleção correta do atuador

Os atuadores das válvulas de controle são passíveis também de especificação incorreta e sobre especificação. As válvulas de controle necessitam responder rapidamente e de forma decisiva as mudanças no sinal de controlador. Os atuadores são dimensionados para ter força suficiente para vencer as forças de resistência do fluido e forças mecânicas da válvula, e ainda ter capacidade de realizar o assentamento necessário para promover a classe de vedação da válvula.

É recomendado o conhecimento da máxima pressão que pode acontecer na válvula, bem como a queda de pressão máxima. Estes fatores têm impacto na estabilidade e na força hidráulica que o atuador terá que superar.

O atuador também deve ter força suficiente para vencer a resistência imposta pelas gaxetas. As gaxetas geralmente têm a função de vedação da haste e corpo, impedindo que o fluido vaze para o ambiente. Porém esta vedação faz com que apareça uma força de atrito. Esta força de atrito comumente causa problemas nas válvulas de controle, deixando a operação mais lenta ou ocasionando travamento da haste.

Algumas aplicações de processo industrial como controle de *surge* de compressores, requerem válvulas com uma velocidade de resposta maior. Atuadores pneumáticos são usados frequentemente nesses casos, associando acessórios que melhoram a disponibilidade de ar de instrumento, como por exemplo, os *boosters*. Nestes casos, porém deve se ter cuidado com a especificação do atuador, pois este pode ter dificuldade de parar devido a sua velocidade superior, causando desta forma, problemas na resolução e precisão do controle. Para se evitar este fenômeno, são usados cada vez mais atuadores eletro hidráulicos nestas aplicações.

2.3.4 Procedimentos de teste

É extremamente importante realizar uma rotina de testes e conferências em oficina para garantir que suas funções estão conforme o requerido. Depois que a válvula já esta instalada na tubulação, é praticamente impossível resolver o problema no local, sendo necessário remover a válvula da tubulação, causando transtornos, retrabalho, e muitas vezes até atraso na partida da planta.

Todas as válvulas de controle, antes de serem encaminhadas aos clientes passam por uma série de testes, muitos deles padronizados por Normas Internacionais. São testes comuns: teste de material, teste hidrostático,

teste de vazamento pela sede, teste de vazamento pela haste, teste funcional e simples calibração do curso da válvula.

Todavia, de acordo com os autores Borden & Friedmann (1998), é prudente executar um *check list* antes da instalação:

- Verificar se o número de série ou o “tag” está correto para local de instalação.
- Verificar se a direção do fluxo indicada na válvula está correta de acordo com o processo.
- Verificar se a ação da válvula, falha abre ou falha fecha, está correta.
- Verificar se a ação do posicionador, direta ou reversa, está correta.
- Verificar se a combinação das ações do atuador e do posicionador estão corretas.
- Verificar se o comprimento do curso esta correto. Verificar se a válvula começa a abrir ou fechar quando deve de acordo com o sinal enviado, bem como se consegue atingir o fim do curso quando requer isto.
- Verificar se na posição fechada, a pressão de ar no diafragma ou pistão do atuador, consegue garantir que assentamento da sede promova a vedação.
- Verificar se o filtro regulador de ar, se montado, está fornecendo a pressão de ar adequada.
- Verificar se os *limit switches* – chaves de posição, se montados, estão indicando a posição correta da válvula.
- Verificar se o transmissor de posição, se montado, está indicando a posição da válvula.
- Verificar se a válvula solenoide, caso esteja montada, para atuação de válvula em caso de emergência ou resposta rápida, está operando corretamente.
- Verificar se o relé *booster* ou outro dispositivo de ação rápida da válvula, caso esteja montado, promove ao sistema a velocidade requerida de operação sem instabilidade e se fica procurando o *set point*.

A realização deste *check list* requer um tempo de trabalho da equipe em oficina, porém adianta verificações da válvula no comissionamento e facilita o

start up da planta, reduzindo a probabilidade de algo dar errado bem no momento da partida.

2.4 CONCEITO DE FALHA E OS MODOS DE FALHA

De acordo com Siqueira (2005), a falha é a interrupção ou modificação da capacidade de um equipamento realizar sua função necessária ou esperada. Em alguns casos as falhas devem ser prevenidas, outras situações a falha por ser tolerada ou permitida.

Ainda segundo Siqueira (2005), após serem identificadas as possibilidades de falha num equipamento, é importante a caracterização de como elas ocorrem, ou também chamado de modos de falha. Conforme as normas SAE JA1011 e IEC 60300-3-11, apud Siqueira (2005), a definição de modo de falha é *“um evento ou condição física, que causa uma falha funcional ou, um dos possíveis estados de falha de um item, para dada função requerida”*.

O modo de falha é associado principalmente à ação ou fenômeno físico que provoca a alteração do estado normal. Todo modo de falha é originado por uma causa. Basicamente o modo retrata o que está errado, já a causa retrata porque está errado. Esta diferença é importante a fim de se entender o objetivo da manutenção e do projeto. Faz parte das atividades de manutenção impedir ou controlar os modos falha, ao passo que cabe ao projeto eliminar a causa da falha.

Dentro de um único equipamento pode-se ter diversos componentes ou sistema com um conjunto de modos de falha de acordo com a tecnologia aplicada. E cada modo de falha, por conseguinte pode se ter origem em um conjunto de causas.

A seguir, a Tabela 2 ilustra para diversos equipamentos, os modos de falha com suas respectivas causas.

Tabela 2: Modos de falha típicos

Componente	Modo de falha	Causa da falha
Relé	Contatos curto circuitados Contatos abertos Bobina interrompida Bobina curto-circuitada	Contatos soldados Sujeira nos contatos Espira aberta Quebra de isolamento
Transformador	Enrolamento curto circuitado Enrolamento aberto	Quebra de isolamento Espira aberta
Motor	Mancal aquecido Escovas abertas Enrolamento aberto Enrolamento curto-circuitado	Lubrificação insuficiente Escovas desgastadas ou sujas Espira aberta Quebra de isolamento
Servomotor	Vazamento Atuador não retorna	Desgaste dos selos Linhas de fluido bloqueadas
Chave	Contatos curto-circuitados Contatos abertos	Contatos soldados Sujeira nos contatos
Operador	Operação correta no item errado Operação errada no item errado Operação errada no item certo Operação antes do tempo certo Operação depois do tempo certo Não execução da tarefa	Treinamento insuficiente Remuneração insuficiente Supervisão inadequada Formação insuficiente Problemas pessoais Ambiente inadequado

Fonte: Siqueira (2005).

2.5 PROBLEMAS FREQUENTES EM VÁLVULAS DE CONTROLE

Conforme Borden & Friedmann (1998), os autores dividem os problemas comumente encontrados com válvulas de controle em duas categorias: problemas funcionais e operacionais. Apesar de possuírem muitas causas em comum e estarem inter-relacionados é interessante manter esta divisão para efeito de entendimento

Em linhas gerais se a válvula de controle esta operando corretamente e a falha e seu funcionamento é interrompido, as causas macro, de acordo Borden & Friedmann (1998), se resumem em:

- Atrito anormal nas gaxetas.

- Presença de corpo estranho no interior da válvula
- Perda de suprimento de ar ou energia.
- Falha no diafragma ou de selagem do atuador.

A maioria destes problemas é de origem funcional, atribuídos ao próprio funcionamento da válvula. Ver-se-á também que as condições de processo interferem com relevância no ciclo de vida da válvula.

2.5.1 Desvios funcionais

Para o correto funcionamento da malha de controle, é importante que todos os elementos estejam funcionando em perfeitas condições. As válvulas de controle são na maioria das vezes os elementos finais da malha de controle, logo, os problemas ocorridos nelas afetam diretamente o processo.

Na relação a seguir, Borden & Friedmann (1998), apresentam as principais ocorrências relativo a problemas funcionais:

- Falha na resposta da válvula ao sinal de entrada.
- Válvula não se move para a direção correta.
- Válvula não atinge o fim no curso quando aplicado o máximo sinal de entrada.
- Válvula fica instável em operação.
- Agarramento da válvula com interrupção do movimento.
- Plugue da válvula tende a pular ao invés de abrir suavemente.
- Plugue da válvula tende a bater na sede durante o fechamento.
- Válvula permite passagem com o curso totalmente fechado.
- Válvula não vai para posição de falha segura em caso de perda de sinal.
- Válvula não oferece a correta indicação de posição.
- Falha de operação da válvula quando operada por solenóide
- Válvula não alcança a velocidade de curso requerida.

2.5.2 Desvios operacionais

De acordo com Borden & Friedmann (1998), podem ocorrer problemas significativos em decorrência das condições de processo desfavoráveis que estas válvulas de controle são submetidas.

Existem situações em que a condição é naturalmente severa como grandes quedas de pressão dentro da válvula (ΔP elevado), altas temperaturas, fluidos erosivos, fluidos abrasivos, fluidos corrosivos, dentre outros. Obviamente, as válvulas para tais aplicações são construídas com projetos mais robustos, classes de pressão superiores, por exemplo. Segundo Borden & Friedmann (1998), para válvulas que operam nestas condições adversas se utilizam revestimentos especiais em aços e tratamentos térmicos nos materiais para fabricação dos internos, tais como sede, plugue, gaiola, etc.

Mas o que se percebe na prática, é que as válvulas que operam em condições adversas são mais propensas a sofrer conseqüências e diminuir o ciclo operacional. Ou entram em falha prematuramente, ou requerem intervenções de manutenção com mais frequência.

Na relação a seguir, Borden & Friedmann (1998) apresentam as principais ocorrências relativas aos desvios operacionais:

- Válvula não permite a passagem do fluxo necessário.
- Válvula não consegue controlar as variáveis (pressão, temperatura ou vazão).
- Válvula vibra em operação.
- Válvula apresenta ruído.
- Válvula está instável em operação.
- Válvula apresenta tendência ao agarramento (causas operacionais).
- Corpo da válvula ou os internos sofrem de erosão acentuada
- Haste da válvula apresenta tendência a girar.
- Vazamento pelas gaxetas e pelo castelo.

3. ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA

Neste capítulo é realizada uma análise dos principais modos de falha ocorridos com válvulas de controle. Esta análise foi embasada nas ocorrências relatadas pelos autores Borden & Friedmann (1998) presentes no Capítulo 2. No capítulo 3, os resultados desta análise foram aplicados na análise de viabilidade para manutenção preditiva.

A válvula de controle por sua natureza é um equipamento composto por vários sistemas, cada qual com sua função e importância. Antes de realizar a análise para identificação dos modos de falha, é importante dividi-las nos diferentes componentes ou sistemas que podem apresentar falhas:

- **Componentes mecânicos:** Corpo da válvula, internos da válvula, atuador pneumático/hidráulico, posicionador pneumático, acessórios pneumáticos;
- **Componentes elétricos:** Atuador elétrico, posicionador eletromecânico ou digital, acessórios eletrônicos.
- **Fator humano:** Operador de processo, mecânico de válvulas, instrumentista.

3.1 Análise de ocorrências

Com base nas ocorrências apresentadas no Capítulo 2, a seguir é feita uma análise para identificação dos modos de falha mais frequentes em válvulas de controle, bem como suas causas principais.

A seguir na Tabela 2, é apresentado a ocorrência de falha na resposta da válvula ao sinal de entrada, assim como os componentes de válvula de controle que são afetados, o respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 2: Ocorrência de falha na resposta da válvula ao sinal de entrada.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Falha na resposta da válvula ao sinal de entrada	Acessórios	Cabo elétrico rompido Vazamento de ar	Incidente Vibração Aperto fraco
	Posicionador	Cabo elétrico rompido Vazamento de ar	Incidente Vibração Aperto fraco
	Atuador	Rompimento de diafragma	Excesso de pressão Pela em fim de vida útil
	Internos	Haste presa ou travada	Desalinhamento da haste

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 3, é apresentado a ocorrência da válvula não se mover para a direção correta, assim como o componente de válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 3: Ocorrência da válvula não se mover para a direção correta.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula não se move para a direção correta	Posicionador	Posicionador desconfigurado	Eletrônica falhou Erro de configuração Ausência de alimentação elétrica

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 4, é apresentado a ocorrência da válvula não atingir o fim no curso totalmente, assim como os componentes de válvula de controle que são afetados, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 4: Ocorrência da válvula não atingir o fim no curso totalmente.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula não atinge o fim no curso quando aplicado o máximo sinal de entrada	Posicionador	Posicionador desconfigurado	Eletrônica falhou Erro de configuração Ausência de alimentação elétrica
	Atuador	Mola sem força	Fim de vida útil Problema de fabricação

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 5, é apresentado a ocorrência de a válvula ficar instável em operação, assim como os componentes de válvula de controle que são afetados, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 5: Ocorrência de a válvula ficar instável em operação.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula fica instável em operação	Internos	Gaxeta apertada	Atrito excessivo entre haste e gaxetas
		Desgaste dos internos	Cavitação
		Internos quebrados/soltos	Vibração Falta de manutenção Material do interno inadequado
	Atuador	Desalinhamento da haste	Vibração Ausência de manutenção Manutenção de má qualidade

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 6, é apresentado de ocorrência de agarramento da válvula com interrupção do movimento, assim como os componentes de válvula de controle que são afetados, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 6: Ocorrência de agarramento da válvula com interrupção do movimento.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Agarramento da válvula com interrupção do movimento.	Internos	Haste presa ou travada	Desgaste natural das gaxetas Degradação do acabamento superficial da haste. Excesso de movimentações Ausência de manutenção Elevação rápida de temperatura na válvula Desalinhamento de flanges
	Corpo	Incrustação de material	Vinda de material estranho na tubulação Vinda de particulado sólido no fluido

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 7, é apresentado a ocorrência do plugue da válvula tender a bater na sede durante o fechamento, assim como o componente de válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 7: Ocorrência do plugue da válvula tender a bater na sede durante o fechamento.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Plugue da válvula tende a bater na sede durante o fechamento.	Internos	Martelamento do plugue	Internos sobredimensionados

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 8, é apresentado a ocorrência da válvula permitir passagem com o curso totalmente fechado, assim como os componentes de válvula de controle que são afetados, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 8: Ocorrência da válvula permitir passagem com o curso totalmente fechado.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula permite passagem com o curso totalmente fechado.	Internos	Desgaste dos internos	Cavitação Erosão <i>Flashing</i>
	Corpo	Incrustação de material	Vinda de material estranho na tubulação Vinda de particulado sólido no fluido
	Acessórios mecânicos	Perda de alimentação para o atuador	Incidente Vibração excessiva Aperto fraco baixa pressão de ar
	Atuador	Atuador sem força	Problemas na mola Falta de ajuste na mola
	Posicionador	Posicionador descalibrado	Falta de alimentação Falha na eletrônica Ausência de manutenção

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 9, é apresentado a ocorrência da válvula não indicar a posição correta de abertura ou fechamento, assim como o componente da válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 9: Ocorrência da válvula não indicar a posição correta de abertura ou fechamento.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula não indica posição correta de abertura ou fechamento.	Acessórios	Desalinhamento da chave de posição	Vibração excessiva
		Fiação rompida ou solta	Incidente Vibração excessiva

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 10, é apresentado a ocorrência da válvula não conseguir controlar as variáveis de processo, assim como o componente de válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 10: Ocorrência da válvula não conseguir controlar as variáveis de processo.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula não consegue controlar as variáveis (pressão, temperatura ou vazão).	Corpo	Alteração de vazão	Vazão reduzida Vazão aumentada

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 11, é apresentado a ocorrência de a válvula vibrar em operação, assim como o componente de válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 11: Ocorrência de a válvula vibrar em operação

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula vibra em operação	Internos	Desgaste dos internos Internos quebrados	Cavitação Erosão Flashing Condições anormais e adversas do fluido Problemas na configuração da tubulação

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 12, é apresentado a ocorrência de a válvula apresentar ruído, assim como o componente de válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 12: Ocorrência de a válvula apresentar ruído

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Válvula apresenta ruído	Internos	Ruído excessivo	Cavitação Condições anormais e adversas do fluido Folgas

Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 13, é apresentado a ocorrência do corpo da válvula ou os internos sofrerem erosão acentuada, assim como o componente da válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 13: Ocorrência do corpo da válvula ou os internos sofrerem erosão acentuada

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Corpo da válvula ou os internos sofrem erosão acentuada	Internos	Interno erodido	Presença de partículas abrasivas no fluido Cavitação <i>Flashing</i>
	Corpo	Corpo erodido	Presença de partículas abrasivas no fluido Cavitação <i>Flashing</i>

Fonte: Autoria própria.

A Figura 13 demonstra os danosos efeitos da cavitação pela mistura bifásica condensado/vapor, a qual provocou a erosão do corpo desta válvula globo de 6 (seis) polegadas.



Figura 10: Erosão causada pela cavitação em válvula globo
Fonte: Autoria própria.

A seguir na Tabela 14, é apresentado a ocorrência de vazamento pelas gaxetas, pelo castelo e pelos flanges, assim como o componente da válvula de controle que é afetado, os respectivos modos de falha e a causa.

Tabela 14: Ocorrência de vazamento pelas gaxetas, pelo castelo e pelos flanges.

Ocorrência	Componente	Modo de falha	Causa
Vazamento pelas gaxetas, pelo castelo e pelos flanges	Internos	Vazamento pela gaxeta	Desgaste natural das gaxetas Ausência de manutenção Manutenção de má qualidade Alterações nas condições de processo
	Corpo	Vazamento pelo castelo	Utilização de junta inadequada Erosão interna no corpo
	Corpo	Vazamento pelos flanges	Junta mal especificada Fases de vedação danificadas Desalinhamento da tubulação

Fonte: Autoria própria.

Dos vinte e um desvios ou ocorrências frequências apresentadas no Capítulo 2, foram selecionadas treze ocorrências mais significativas. As outras que não foram abordadas possuem modos de falha bem semelhantes aos das ocorrências que foram abordadas.

A seguir na Tabela 15 são apresentados os modos de falha, que foram resultado da análise realizada.

Tabela 15: Modos de falha distribuídos nos componentes da válvula de controle

Corpo	Incrustação de material
	Corpo erodido
	Vazamento pelo castelo
	Vazamento pelos flanges
Internos	Haste presa ou travada
	Gaxeta apertada
	Desgaste dos internos
	Internos quebrados/soltos
	Desalinhamento da haste
	Martelamento do plugue
	Ruído excessivo
	Vazamento pela gaxeta
Atuador	Rompimento de diafragma
	Mola sem força
Posicionador	Cabo elétrico rompido
	Vazamento de ar
	Posicionador desconfigurado
	Posicionador descalibrado
Acessórios	Cabo elétrico rompido e/ou solta
	Vazamento de ar
	Perda de alimentação para o atuador
	Desalinhamento da chave de posição
Processo	Alteração de vazão

Na Tabela 15 aparecem, de forma sintética, os modos de falha distribuídos em cada componente da válvula. Algumas ocorrências de tiveram como origem o mesmo modo de falha e apareceram repetidas, foi apresentada uma só vez. Outros bem similares também foram agrupados.

Nota-se que a grande parte dos modos de falha em válvulas de controle estão associados aos internos. De fato, estas partes são mais sujeitas a falhas por estarem diretamente em contato com o fluido de processo. Se houver anormalidades nas condições de processo, os internos são as partes que primeiro podem sofrer danos e apresentar defeitos, que podem refletir em dificuldades de controle ou até mesmo na falha completa da válvula.

Muitos modos de falha estão associados a desgaste dos materiais dos internos. Embora as válvulas que operam em condições severas sejam projetadas com internos com ligas e revestimentos especiais, quando ocorrem os efeitos da cavitação e *flashing* torna-se difícil manter a válvula confiável por longos períodos de campanha operacional.

Cabe ressaltar que alguns modos de falha são provenientes de fatores humanos tais como má qualidade de manutenção e incidentes. Muitos trabalhos de manutenção se não forem executados dentro dos parâmetros de qualidade de serviço podem inclusive introduzir novos problemas. É o que se chama manutenção “prejudicativa”, a qual com certeza deve ser evitada. Também deve se tomar cuidado com serviços realizados em equipamentos localizados nas proximidades das válvulas de controle, tanto quando estão em operação ou não. Os acessórios presentes em muitas válvulas são dispositivos sensíveis, possuem partes móveis circuitos eletrônicos, bem como seus invólucros podem não suportar choques mecânicos, impactos e a presença de água. Na indústria de processo são comuns relatos de eventos, em que incidentes foram a causa da falha na válvula de controle.

4. ANÁLISES PARA VIABILIDADE DA MANUTENCAO PREDITIVA

Ao se comparar uma válvula de controle utilizada na década de 60 com uma válvula de controle moderna, sob o aspecto construtivo, não houveram alterações significativas. O que mudou basicamente foram as melhorias associadas aos materiais dos internos com utilização de ligas especiais e até de revestimentos cerâmicos resistentes a erosão. A utilização de atuadores elétricos também foi um marco expressivo, possibilitando tornar os atuadores mais compactos com o mesmo torque comparado a um atuador pneumático. Porém, a maior evolução percebida foi nos posicionadores. O avanço da eletrônica permitiu que o controle para abrir/fechar/modular a válvula, feito somente com sinal de ar de instrumento com *range* de controle de (3 a 15 psi), possa também ser feito com sinal elétrico em corrente (4 a 20 mA). Os posicionadores pneumáticos são bem confiáveis, mas com as diversas vantagens oferecidas pelos posicionadores inteligentes, a tendência para as novas aplicações é que este último predomine cada vez mais.

4.1 TECNICAS DE MANUTENCAO PREDITIVA PARA VÁLVULAS

Os elementos finais de controle na indústria de processo, até meados dos anos 60, eram quase totalmente controlados com atuadores e acessórios puramente pneumáticos. Inclusive o controle PID da malha de controle, era realizado por dispositivos mecânicos alimentados com ar de instrumento.

A manutenção preditiva em válvulas de controle se difundiu na década de 1990 e na última década, com a evolução dos posicionadores, esta técnica de diagnostico teve sua consolidação no mercado.

Existem algumas técnicas aplicadas para se obter diagnósticos em válvulas de controle, as quais são fornecidas por diversos fornecedores atualmente. As mais conhecidas são através de:

- Inspeção preditiva subjetiva.

- Instrumento de emissão ultrassônica.
- Posicionador inteligente com diagnóstico *on-line*.

Cada uma dessas técnicas possui suas características e seus respectivos objetivos. Na tentativa de avaliar sua aplicabilidade em relação aos principais modos de falha obtidos na Capítulo 3, segue uma descrição dos pontos mais importantes destas técnicas.

4.1.2 Inspeção preditiva subjetiva

Consiste na mais antiga técnica existente para diagnóstico de defeitos e falhas em válvulas. Ela pode ser realizada tanto pelo operador de processos ou pelo profissional da manutenção. O operador é a pessoa que passa mais tempo em contato com válvula, seja na rotina de operação no campo ou na sala de controle. Cada malha de controle possui sua forma de comportamento habitual e em qualquer anormalidade observada, o operador alerta a equipe de manutenção que atuará sob demanda. Desta forma, a atuação da equipe fica focada na manutenção corretiva, agindo posteriormente ao defeito ou falha. Com arquiteturas de controle de processo modernas, o contato do operador com a válvula no campo fica cada vez mais reduzido, o que diminui a interação com o elemento no campo.

Se aplicada de forma sistemática e com pessoal especializado, a inspeção preditiva pode ser útil. Ela pode fornecer elementos para uma posterior manutenção corretiva programada ou mesmo realizar pequenas intervenções no campo se possível. Nela se observa os seguintes aspectos:

- O relato do operador sob as condições de operação.
- Pressão de alimentação de ar.
- Acessórios danificados.
- Corrosão/oxidação das partes metálicas (atuador, corpo, acessórios).
- Vazamentos de fluido.
- Vazamento de ar de instrumento.
- Vibração.

- Ruído.
- Temperatura anormal.
- Isolamento térmico.
- Condições externas: umidade, presença de água, interferência de outros equipamentos nas proximidades.
- Condições de risco a segurança das pessoas no local.

Como comentado, a atividade de inspeção preditiva pode dentro das possibilidades, realizar pequenas intervenções corretivas e preventivas na válvula tais como: reaperto de gaxetas, calibração de posicionador, reaperto de conexões de ar e conexões elétricas. As anormalidades observadas que não forem passíveis de correção imediatas tais como pintura e recuperação de isolamento devem fomentar o planejamento da manutenção para posterior intervenção.

4.1.2 Instrumento de emissão ultrassônica

Falha de estanqueidade tanto nas válvulas de controle, quanto em outros equipamentos são muito comum na indústria de processo. Elas representam fatores de risco a segurança de processo, a segurança humana e preservação ambiental, da mesma forma está associada aos custos gerados pelo desperdício de produto.

Este tipo de manutenção preditiva é específica para detecção de vazamentos em válvulas e outros equipamentos que requeiram estanqueidade na operação. Basicamente, o equipamento é construído de um emissor ultrassônico, capaz de detectar o ruído proveniente do vazamento do fluido. Ele pode ser instalado na tubulação a jusante, no corpo da válvula e a montante da válvula a fim de realizar as medições. Equipamentos modernos são capazes de detectar não apenas a presença do vazamento, como também quantificá-los através do uso de *software*.

Embora a presença do vazamento possa ser constatada de outras formas tais como pelo balanço de produto, diferença de temperatura na

tubulação, presença de ruído audível, estas maneiras ficam condicionada ao aspecto subjetivo. Desta forma a aplicação desta técnica pode dar elementos mais consistentes para se caracterizar o vazamento.

A utilização do instrumento de emissão ultrassônica pode ser por demanda quando se tem a suspeita de um vazamento, ou de forma sistemática e planejada, seguindo uma rota de válvula a serem detectadas com uma periodicidade definida.

4.1.3 Posicionador inteligente com diagnóstico *on-line*

Num posicionador inteligente estão incluídas todas as funcionalidades normais de um posicionador comum: receber o sinal de controle vindo de controlador, seja sinal em ar comprimido ou sinal elétrico, e regular a vazão de ar para o atuador da válvula, de acordo com o posicionamento que a válvula encontra-se. Se for necessário corrigi-lo ele o fará liberando mais ou menos o atuador. A Figura 15 mostra um diagrama de bloco a fim de exemplificar o funcionamento de posicionador inteligente.

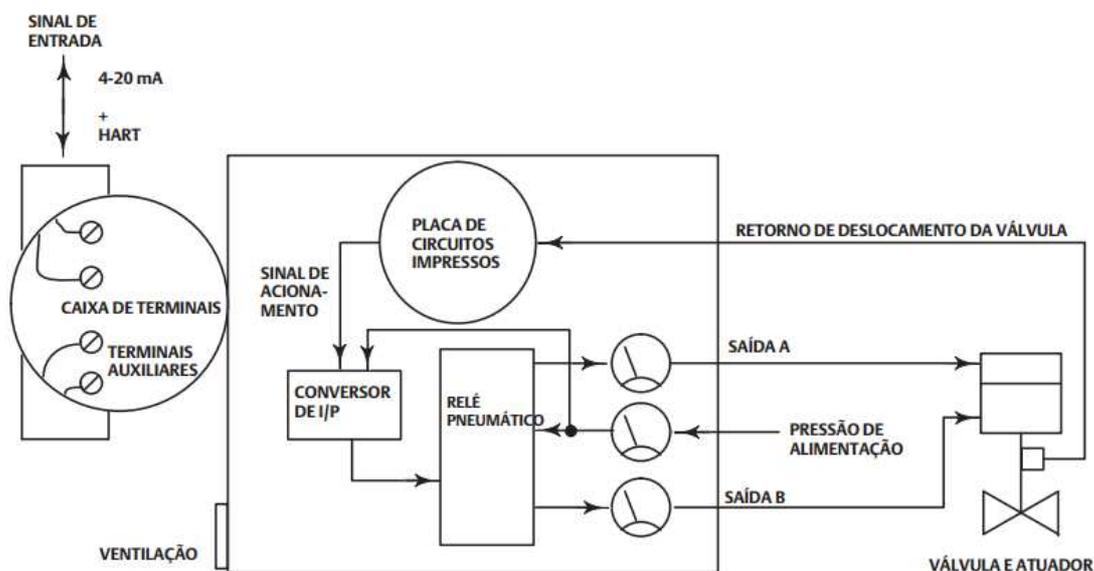


Figura 11: Diagrama de bloco do funcionamento de posicionador inteligente
Fonte: Fabricante Emerson, 2003.

O grande diferencial aplicado nos posicionadores inteligentes é a utilização dos protocolos de comunicação. Um dos mais utilizados é o HART – (*Highway Addressable Remote Transducer*), o qual permite aos instrumentos a capacidade de se comunicar digitalmente. O método de comunicação digital trafega no mesmo circuito de dois fios que disponibiliza o sinal de controle em 4-20 mA. O protocolo HART usa a modulação por deslocamento de frequência (FSK). Nele, duas frequências individuais de 1200 e 2200 Hz são sobrepostas no sinal de corrente de 4-20 mA. Essas frequências correspondem aos dígitos 1 e 0 (conforme Figura 16). Com a sobreposição de um sinal de frequência na corrente de 4-20 mA, permite-se a comunicação digital.

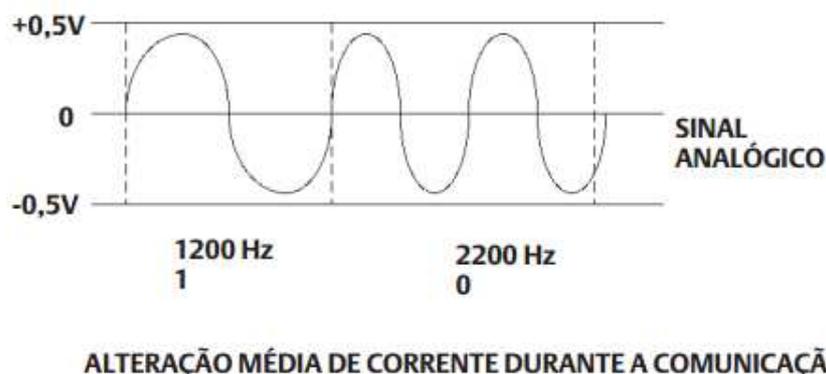


Figura 122: Protocolo de comunicação Hart
 Fonte: Fabricante Emerson, 2003.

Da mesma forma que o protocolo é os responsáveis pela comunicação existem sensores que são os responsáveis por medir variáveis sendo recebidas e processadas por um circuito eletrônico dentro do posicionador. Basicamente os sensores utilizados são:

- Sensor de posição.
- Sensor de pressão.
- Sensor de temperatura.

Com os dados processadas no circuito eletrônico, através do protocolo de comunicação eles podem ser arquivados na memória do posicionador ou transmitidos para algum *software*. Este *software* através de uma interface com o usuário poderá apresentar em tempo real o *status* de pressão, curso da válvula, temperatura no posicionador.

Existem *softwares* de diferentes fabricantes, cada qual com sua especificidade. De acordo com o fabricante, além de informar as variáveis *on-line*, o software pode alertar quando alguma dessas variáveis extrapolarem os padrões pré-estabelecidos. Por exemplo, pode se inserir informações com o tipo de gaxeta, força da mola, pressões de entrada e saída, tamanho do curso, entre outros. Por exemplo, se o *range* de pressão de ar de alimentação do atuador for configurado para a faixa (0 a 3,5 bar), caso a pressão extrapole este valor máximo de 3,5, um alerta pode ser gerado ao usuário do *software*, de modo a permitir que alguma ação seja tomada.

Segundo um dos fornecedores desta técnica é possível se identificar:

- Redução/queda de pressão de ar de alimentação.
- Configuração incorreta da válvula reguladora.
- Ar de instrumento sujo.
- Vazamento de ar de instrumento (pelo diafragma ou pelas tubulações).
- Alteração de calibração.
- Válvula prendendo.
- Falha na vedação do pistão do atuador.
- Excesso de atrito na válvula.
- Excesso de banda morta na válvula.
- Falha no elastômetro interno do posicionador.
- Mola do atuador quebrada.

A seguir é apresentada na Figura 17 com a tela do *software* de diagnóstico. Segundo o fabricante, o software utiliza algoritmos estatísticos para determinar a condição e o desempenho nas leituras dos sensores no posicionador. Neste *software* o fabricante utiliza o indicador de severidade nas cores vermelho/amarelo/verde para diferenciar e dar relevância aos eventos detectados.

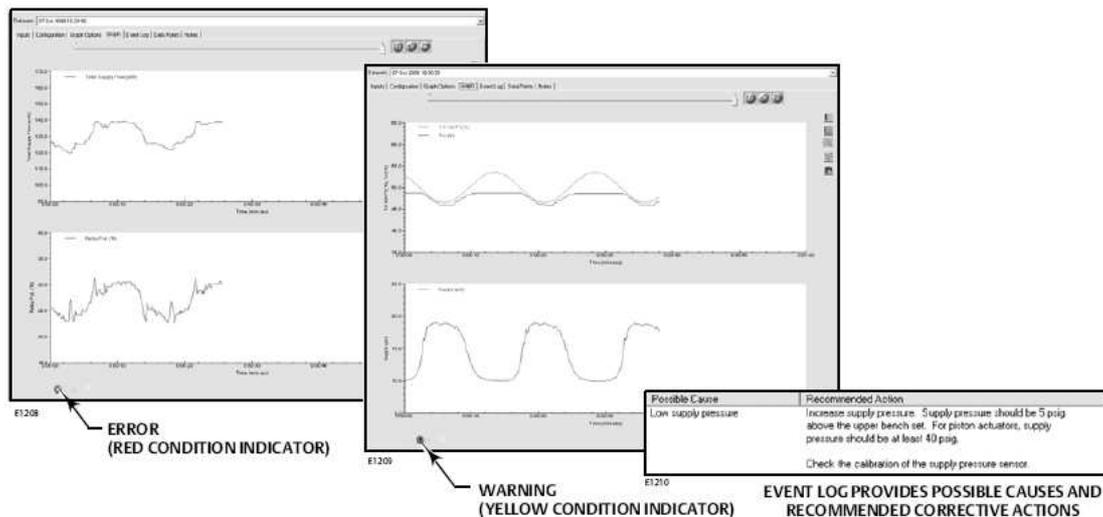


Figura 13: Indicadores de condição da válvula.
Fonte: Fabricante Emerson, 2013.

Além do método de diagnóstico apresentado, existem outros semelhantes disponíveis no mercado que realizam o diagnóstico da válvula *off-line*, ou seja, com a válvula fora de operação ou em oficina. Trata-se basicamente de um *kit* que contém sensores, fonte de sinal de alimentação e uma central eletrônica na qual é instalado um software. Ele é capaz de processar os sinais colhidos pelos sensores, interpretá-los e disponibilizar diagnósticos de forma parecida com a qual é feita pelos posicionados inteligentes e os *softwares* de diagnósticos *on line*.

4.2 APLICABILIDADE DAS TÉCNICAS PREDITIVAS

Vale ressaltar que o objetivo das técnicas é buscar antecipar a falha da válvula de controle, evitando a manutenção corretiva não planejada. A falha em si ela vai continuar ocorrendo, porém a previsibilidade da sua ocorrência é identificada e isto pode evitar prejuízos caso ocorra uma parada de produção inesperada.

Como foi visto no Capítulo 3, foram obtidos os principais modos de falha ocorridos com as válvulas de controle. Na sessão anterior foram apresentadas

as técnicas utilizadas para manutenção preditiva, bem como para quais situações elas são aplicáveis e quais modos de falha pode ocorrer. Neste momento, é pertinente realizar uma analogia entre os modos de falha típicos e o que a manutenção preditiva pode oferecer como benefício.

1. Corpo:

- a. **Incrustação de material:** este modo de falha ocorre de maneira aleatória, não havendo possibilidade de previsão. O diagnóstico pelo posicionador pode até identificar algum desvio no curso, porém a falha já terá ocorrido. Logo, a **preditiva não é aplicável** neste caso. A Figura 18 ilustra um objeto metálico incrustado no interior de uma válvula de controle, o que ocasionou a sua falha.



Figura 14: Objeto metálico incrustado no interior de válvula de controle
Fonte: Autoria própria.

- b. **Corpo erodido:** muitas vezes existem indicações que o corpo da válvula esta em processo de erosão, tais como ruído excessivo, dificuldade de

controle. Porém, há dificuldade em prever se existe de fato o processo de erosão ou não, sem remover a válvula de controle para oficina. Neste caso a manutenção preventiva pode atuar de forma mais eficaz. De toda forma, a **preditiva não é aplicável** neste caso.

- c. **Vazamento pelo castelo:** o vazamento pelo castelo pode ser detectado pela inspeção preditiva subjetiva. Em muitos casos, o vazamento pelo castelo é um indício de que há erosão no corpo da válvula. Não há elementos dentro das técnicas de manutenção preditiva atuais que permitam antecipar o acontecimento de um vazamento pelo castelo. Porém, se o vazamento for identificado no início, e puder ser contida sem a necessidade da interrupção do processo, a inspeção será eficaz. Logo, a **preditiva é aplicável**.

 - d. **Vazamento pelos flanges:** da mesma forma que no item anterior, em alguns casos a inspeção no campo pode observar o vazamento, e em algumas vezes é até possível realizar um reaperto nos flanges para cessar o vazamento. Desta forma, a **preditiva é aplicável**.
2. Internos:
- a. **Haste presa ou travada:** este modo de falha pode ser previsto através da técnica que utiliza o posicionador inteligente. Quando a haste tem tendência a prender, a força requerida para fechar ou abrir a válvula também aumenta. Isto é válido, desde que não ocorra um travamento repentino. Porém, esta falha ocorre geralmente progressivamente. Logo, a **preditiva é aplicável**. A Figura 19 mostra uma quebra da haste de uma válvula causada por travamento.

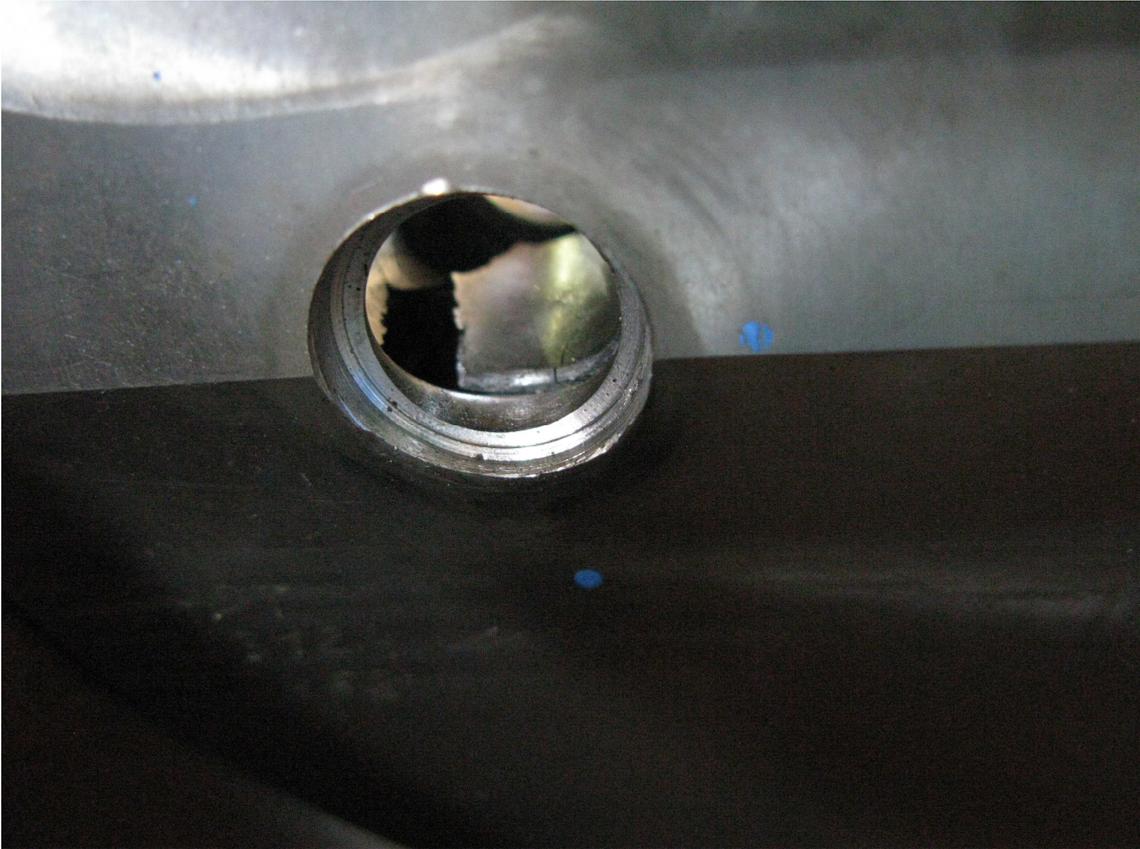


Figura 15: Quebra de haste de válvula borboleta causada por travamento.
Fonte: Autoria própria.

- b. **Gaxeta apertada:** este modo de falha tem característica bem semelhante a anterior quanto à forma que ela ocorre, pois as forças internas na válvula também se alteram. Portanto, a **preditiva também é aplicável.**

- c. **Desgaste dos internos:** o desgaste dos elementos internos na válvula compromete a capacidade de controle da válvula e quando a válvula requer estanqueidade, esta também acaba comprometida. Se aplicada a técnica preditiva de detecção de vazamento por ultrassom, existirá evidências de desgaste, bem como da perda de estanqueidade, principalmente em se tratando de válvulas do tipo globo. Logo, a **preditiva é aplicável.**

- d. **Internos quebrados/soltos:** a ocorrência deste modo de falha pode implicar em diversos problemas para a válvula, porém esta é uma ocorrência repentina que acaba comprometendo a operação da válvula na maioria dos casos. Logo, a **preditiva não é aplicável**.
 - e. **Desalinhamento da haste:** este modo de falha geralmente ocorre quando em decorrência do desequilíbrio de forças na válvula ou como uma consequência de uma manutenção de má qualidade. É difícil prever uma falha, mesmo com uma inspeção visual, pois o desalinhamento pode não ser perceptível. Desta forma, a **preditiva não é aplicável**.
 - f. **Martelamento do plugue:** o martelamento do plugue na sede, ou *chattering*, ocorre geralmente quando a válvula opera muito restringida, próxima do fechamento. Como este fenômeno é relacionado com a posição da válvula, se utilizada a técnica com posicionador inteligente. Pode haver indícios de que o martelamento esteja ocorrendo. Logo a **preditiva é aplicável** neste caso.
 - g. **Ruído excessivo:** a presença do ruído pode ser verificada pela inspeção preditiva subjetiva, portanto **é aplicável**.
 - h. **Vazamento pela gaxeta:** da mesma forma que o ruído, o vazamento pela gaxeta pode ser observado na inspeção preditiva subjetiva, portanto **é aplicável** para se identificar este modo de falha.
3. Atuador:
- a. **Rompimento de diafragma:** a ocorrência deste modo de falha é praticamente repentina, e sendo um componente interno no atuador, as técnicas preditivas atuais não conseguem diagnosticar. A técnica que utiliza o posicionador inteligente até pode identificar posteriormente a ocorrência do rompimento ou perfuração do diafragma, porém não

consegue prever a sua ocorrência. Logo, para este caso a **preditiva não é aplicável**.

- b. **Mola sem força:** este modo de falha tem uma tendência a ocorrer progressivamente, logo é possível identificar através da técnica de diagnóstico *on line*, por meio do sensoriamento das pressões no atuador. Logo, a **preditiva é aplicável** neste caso.

4. Posicionador:

- a. **Cabo elétrico rompido e/ou solto:** o rompimento de um cabo de alimentação ou sinal de posicionador ou outro acessório trata-se de uma falha aleatória, não sendo possível prever a ocorrência dentro de condições normais. Logo, para este caso, a **preditiva não é aplicável**.

- b. **Vazamento de ar:** vazamentos de ar no posicionador, bem como em outros acessórios das válvulas são modos de falha que ocorrem com bastante frequência na industrial de processo, devido à vibração, conexões mal feitas ou a incidentes. Vazamentos podem ocorrer progressivamente ou de forma repentina. No primeiro caso, é possível de diagnóstico pelas técnicas preditivas, tanto a inspeção subjetiva quanto o diagnóstico com auxílio do posicionador inteligente possuem ferramentas para identificá-las. Porém, quando ocorrem de forma repentina praticamente só é possível agir reativamente. De toda forma, a **preditiva é aplicável**.

- c. **Posicionador desconfigurado:** se a válvula de controle estiver equipada com posicionador inteligente e o mesmo permitir o diagnóstico *on line*, é possível identificar a desconfiguração do posicionador. Logo, a **preditiva é aplicável** neste caso.

- d. **Posicionador descalibrado:** da mesma forma que o modo de falha anterior, a descalibração do posicionador pode ser identificada pelo

diagnostico *on line*. Portanto, a **preditiva também é aplicável** neste caso.

5. Acessórios:

- a. **Perda de alimentação para o atuador:** este modo de pode ocorrer com a perda de alimentação de ar de instrumento ou alimentação elétrica, no caso de atuadores elétricos. Em ambos os casos, a ocorrência da falha é repentina, onde a atuação da preditiva é limitada. Logo, a **preditiva não é aplicável**.
- b. Desalinhamento da chave de posição: o desalinhamento com ocorrência de perda de indicação correta da válvula, é uma ocorrência repentina, bem como o mau contato nas chaves de posição. Logo para este modo de falha, a **preditiva não é aplicável**.

6. Processo:

- a. **Alteração de vazão:** caso ocorra uma diminuição ou aumento anormal da posição típica de operação da válvula, pode ser indícios de que houve alterações de processo. Embora estas alterações possam ser temporárias, pode trazer consequências negativas para a válvula. O posicionador inteligente utilizado como ferramenta de diagnóstico pode alertar quando estas situações de alterações no curso típico da válvula ocorrem, permitindo que as devidas ações sejam tomadas. Logo, **a preditiva é aplicável** para este caso.

Portando, observa-se que alguns dos principais modos de falha não podem ser identificados ou diagnosticados pelas técnicas preditivas, tendo em vistas as três técnicas apresentadas: inspeção subjetiva, instrumento de emissão ultrassônica e posicionador inteligente com diagnostico *on line*.

A seguir foram distribuídos os modos de falha nas respectivas técnicas preditivas as quais são aplicáveis a eles:

- **Inspeção subjetiva:** vazamento pelo castelo, vazamento pelos flanges, vazamento pela gaxeta, ruído excessivo, vazamento de ar.
- **Posicionador inteligente com diagnóstico *on line*:** Haste presa ou travada, martelamento do plugue, vazamento de ar, posicionador desconfigurado, posicionador descalibrado, alteração de vazão, mola sem força.
- **Instrumento de emissão ultrassônica:** desgaste dos internos.

4.3 A CRITICIDADE DAS VÁLVULAS E OS TIPOS DE MANUTENÇÃO

Dependendo da criticidade e da condição em que a válvula opera no processo é imprescindível do ponto de vista técnico poder contar com diferentes abordagens de manutenção para se aplicado nas válvulas de controle.

4.3.1 A criticidade e a liberação em operação

Em termos de criticidade e condição operativa pode ter quatro situações diferentes:

- **Válvulas críticas não liberáveis em operação (classe A):** são válvulas que estão em serviços essenciais no processo produtivo e seu defeito ou falha ocasiona em perda de produção e financeira elevada. Não são liberáveis para remoção para manutenção corretiva em caso de falha, sem que o processo esteja parado.

- **Válvulas críticas liberáveis em operação (classe B):** são válvulas que também estão em serviços essenciais no processo produtivo e seu defeito ou falha também ocasiona em perda de produção e financeira alta ou moderada. Entretanto existe a possibilidade de ser remover a válvula para manutenção

corretiva, ficando o processo atendido por *by pass* ou por sistema paralelo que consiga manter a produção por tempo determinado.

- **Válvulas não críticas não liberáveis em operação (classe C):** válvulas que não operam em serviços essenciais e que seu defeito ou falha ocasionam perda de produção e financeira média ou baixa, porém não existe a possibilidade de remoção para manutenção corretiva sem interferência na produção.

- **Válvulas não críticas liberáveis em operação (classe D):** válvulas que não operam em serviços essenciais e que seu defeito ou falha ocasionam perda de produção e financeira baixa ou irrelevante, e ainda existe a possibilidade de remoção para manutenção corretiva com pequena ou nenhuma interferência na produção.

4.3.2 A manutenção com foco na criticidade da válvula.

O objetivo desta seção é relacionar as diferentes estratégias de manutenção com os diferentes “classes” de válvulas de controle que podem existir dentro de uma indústria de processo contínuo. Essencialmente há três abordagens que são básicas na manutenção: a corretiva planejada e corretiva não planejada e a preventiva. As técnicas preditivas, embora consideradas importantes e para algumas aplicações serem bastante difundidas, nesta abordagem elas serão consideradas com adicionais, pois podem ser aplicadas sob o aspecto de melhoria do processo de manutenção.

Dentro de uma indústria de processo, a função da válvula de controle na malha de controle pode ser crítica ou não. Isso irá depender se o fluido que ela controla é um produto final, da sua importância frente à segurança de processo. Estes aspectos definem a estratégia de manutenção que a empresa irá adotar frente as válvulas críticas ou não. Quando a empresa define qual ou quais estratégias irá adotar, deve estar ciente dos custos inerentes à manutenção e do resultado esperado.

Outro fator de grande relevância que deve ser levado em conta, na decisão da estratégia de manutenção a ser escolhida é a liberação da válvula em operação para que seja feita a manutenção, sem prejuízo para o processo. Se há válvula possui redundância, que possa assumir sua função enquanto estiver indisponível, ou houver alguma condição operacional que possibilite a retirada da válvula de operação, ela é considerada liberável. Em caso contrário ela não é liberável.

Por exemplo, não faz sentido se definir que para uma válvula crítica será mantida com corretiva não planejada. Podem ocorrer grandes perdas de produção em função da falha inesperada e da indisponibilidade até se corrigir a falha ou se fazer o devido reparo.

A Tabela 16 faz uma correlação entre as estratégias de manutenção e as “classes” de válvulas de controle, as quais foram divididas de acordo com a sua criticidade e sua possibilidade de liberação no processo produtivo.

Tabela 16: Tipos de manutenção para válvulas de diferentes criticidades e condição de liberação.

Legenda		Estratégias de manutenção				
	Recomendação de maior ênfase	Essenciais			Adicionais	
	Ênfase mediana	Corretiva Não planejada	Corretiva Planejada	Preventiva	Preditiva Objetiva	Preditiva Subjetiva
	Recomendação de menor ênfase					
Classes das válvulas (criticidade / condição de liberação em operação)	Classe A					
	Classe B					
	Classe C					
	Classe D					

Fonte: Autoria própria.

Considerações sobre as classes

Classe A: O foco da manutenção em válvulas críticas e não liberáveis deve ser a preventiva. A importância da válvula para o processo justifica o fato da intervenção programada independe da condição em que a válvula esteja, para se garantir uma confiabilidade maior. Geralmente, pelo fato da não liberação em operação, a oportunidade para a preventiva são as paradas gerais do processo cuja periodicidade varia de empresa para empresa. Porém, pode se assumir a possibilidade da corretiva planejada caso de detecte um defeito durante a campanha operacional, onde haverá o planejamento da intervenção na próxima oportunidade. A corretiva não planejada deve ser evitada tendo em vista o impacto causado pela quebra inesperada da válvula. Nesse contexto a preditiva objetiva pode auxiliar de duas formas:

- Subsidiando informações para o planejamento da manutenção preventiva, tendo em vista a campanha atual da válvula e o histórico de falhas.
- Informando da necessidade da manutenção corretiva planejada, a fim de planejar os sobressalentes e mão de obra, tendo como base os defeitos ou falhas detectadas durante a campanha operacional.

Classe B: Com válvulas críticas e liberáveis, o foco continua a ser a manutenção preventiva. A diferença é que a periodicidade da manutenção já não é mais condicionada às paradas de manutenção. A intervenção pode acontecer durante a campanha operacional. Em virtude disso, a corretiva planejada também ganha uma relevância maior, pois existe a possibilidade da intervenção quando necessário. Dentro desta análise, a corretiva não planejada continua tendo menor ênfase, porque mesmo com a liberação da válvula a falha inesperada continuará impactando tendo em vista à criticidade. Neste cenário, as manutenções preditivas objetivas e subjetivas continuam tendo seus objetivos, da mesma forma como comentado nas válvulas da “Classe A”.

Classe C: A recomendação para as válvulas desta “classe” é o foco na corretiva planejada. Para esta atuação pode ser interessante a utilização das técnicas preditivas a fim de subsidiar informações para o planejamento da

corretiva. Logo, deve ser cogitada a utilização delas neste tipo de caso. Como este tipo de válvula não é crítica, pode se assumir com cautela o impacto da falha imprevista, aplicando assim a corretiva não planejada. A manutenção preventiva pode ser aplicada, mas pode ser desinteressante quando for avaliado o custo. Não quer dizer que não possa ser aplicada. Porém os intervalos para realização da manutenção preventiva devem ser acertados de maneira que não impacte no orçamento da empresa.

Classe D: Assim como na “Classe C” a ênfase recomendada deve ser na também na manutenção corretiva planejada, porém a corretiva não planejada pode ser assumida tendo em vista a possibilidade de liberação da válvula para a manutenção. A aplicação de técnicas preditivas, bem como da inserção num plano de manutenção preventiva deve ser avaliada, pois pode não ser interessante tendo em vista o custo e os benefícios esperados.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE

A aplicação das técnicas preditivas em válvulas de controle é relativamente recente dentro das indústrias de processo. Cada vez mais os fornecedores de equipamentos e sistemas, vêm aprimorando as técnicas. Ao longo dos anos, com a difusão delas no ambiente industrial elas se tornaram cada vez mais acessíveis do ponto de vista econômico. Porém, pelo fato da implantação das técnicas requererem o investimento de recursos financeiros, bem como de custos para manutenção do sistema posteriormente, é importante avaliar com clareza qual é o cenário, quais as dificuldades, quais os benefícios e resultados esperados.

Nesta sessão será realizada uma análise de viabilidade para aplicação das técnicas preditivas tendo em vistas os seguintes critérios:

- Modos de falhas identificáveis.
- Criticidade da válvula.

- Condição de liberação da válvula em operação.
- Probabilidade e impacto da ocorrência da falha.

4.4.1 Modos de falha identificáveis

A gestão da manutenção que deve estar ciente que as técnicas preditivas não abrangem todo o universo de modos de falha, conforme foi verificado no Capítulo 3. Conforme a análise realizada, dentre os principais modos de falha apontados pela literatura, às técnicas preditivas conseguem identificar:

- Vazamento pelo castelo da válvula
- Vazamento pelos flanges da válvula
- Haste da válvula presa ou travada
- Gaxeta apertada
- Desgaste dos internos
- Martelamento do plugue na sede (*Chattering*).
- Ruído excessivo
- Vazamento pela gaxeta
- Mola do atuador sem força
- Vazamento de ar no posicionador e acessórios
- Posicionador desconfigurado
- Posicionador descalibrado
- Alteração de vazão no processo

A recomendação é se realizar um levantamento do histórico de manutenções a fim de se identificar quais foram os modos de falha das últimas ocorrências. Depois é importante confrontá-los com os modos de falha listados acima. Caso a maioria coincida com os apontadas neste trabalho, provavelmente a implantação das técnicas trarão os resultados esperados.

4.4.2 Criticidade da válvula

A viabilidade da aplicação da técnica preditiva, dentre outros fatores, depende da criticidade da válvula dentro do processo produtivo. São exemplo de válvulas críticas: válvula que controlam a vazão para admissão de água para caldeiras, válvulas que controlam a temperatura em reatores, válvulas que controlam o nível de tanques que contém fluidos perigosos, dentre outros. Conforme analisado na Sessão 4.3.2, se observou que é viável tecnicamente a aplicação de técnica preditiva nestes tipos de válvula, seja ela liberável ou não liberável. O fator custo de implantação e manutenção deve avaliado pelo gestor tendo em vista o potencial de falhas a serem identificadas antes de serem consumadas de fato.

4.4.3 Condição de liberação da válvula em operação

De acordo com Sessão 4.3.2, se verificou que a aplicação das técnicas preditivas em válvulas de controle se mostrou viável em válvulas críticas não liberáveis, bem como para em válvulas não crítica e não liberáveis sob determinadas condições. A não liberação da válvula em operação, mesmo para válvula não críticas, acentua a importância da válvula dentro do processo produtivo. A principal função nestes casos, conforme comentado é identificação e repasse de informações ao setor da manutenção que irá planejar as atividades de manutenção corretiva a fim de sanar os defeitos e falhas apontados pela preditiva.

4.4.4 Probabilidade e impacto da ocorrência de falha

Deve ser levado em consideração também a probabilidade da ocorrência da falha, quais podem ser identificadas pelas técnicas preditivas. A probabilidade do evento depende de muitos fatores tais como: do tipo de válvula utilizada, do tempo que está em operação, da qualidade das manutenções anteriores. Mais uma vez o histórico de intervenções passadas é imprescindível para se analisar este critério. Embora os modos de falha apresentados como sendo os mais comuns, alguns são mais frequentes que outros. E isto deve ser analisado e levado em consideração na tomada de decisão.

Outro fator de deve ser considerado é o impacto da ocorrência da falha. Isto deve levar em consideração, por exemplo: a possibilidade de vazamento de fluidos perigosos à saúde e ou prejudiciais ao meio ambiente, à quantidade de produção perdida devido à falha da válvula, o período de indisponibilidade da válvula devido a manutenção, dentre outros fatores.

Um exercício recomendado é a utilização de uma matriz de probabilidade x impacto, utilizando os modos de falha com objeto de entrada e como resultado esperado a aplicação da técnica ou não. Na Tabela 4.4 é apresentado um exemplo de matriz, que pode ser utilizada para o conforme foi sugerido.

Tabela 17: Matriz de probabilidade versus impacto

Matriz de probabilidade versus impacto				
Probabilidade	Alta			
	Média			
	Baixa			
		Baixo	Médio	Alto
		Impacto		

Fonte: Autoria própria.

Legenda	
	Viável
	Ponderar outros fatores
	Não viável

4.4.5 Custos envolvidos

Os custos relacionados com as técnicas preditivas são envolvidos basicamente:

- Aquisição de equipamentos tais como: emissor ultrassônico para verificação de estanqueidade, posicionadores inteligentes, licenças com software de gerenciamento de ativos e *software* de análise preditiva, estações de trabalho (PC's), dentre outros.
- Manutenção dos equipamentos: sobressalentes para os posicionadores, revisões nos equipamentos de medição, calibrações, sobressalentes para o sistema de gerenciamento de ativos (cartões, fontes, CPU's).
- Mão-de-obra especializada (homem-hora): serviço de emissão ultrassônica, serviço de análise em software do sistema diagnóstico *on line* através de posicionador, serviço de manutenção preditiva subjetiva.

5 CONCLUSOES

Este trabalho realizou uma abordagem sobre os fundamentos básicos de válvulas de controle, atuadores e acessórios, bem como de dois fenômenos indesejados que ocorrem com frequência nas indústrias de processo contínuo.

Para o propósito do trabalho foi importante demonstrar também conceitos de manutenção com foco em válvulas de controle.

Da mesma forma que foi ressaltada a importância da manutenção, foi mostrada também a importância de se realizar um projeto de implantação da válvula de controle com qualidade, obedecendo a critérios técnicos, focando desta forma na prevenção da ocorrência da falha.

Nesse sentido foram introduzidos os conceitos de falha e modos de falha, cujo entendimento foi imprescindível para as análises realizadas posteriormente. Foi visto também, conforme a literatura especializada quais são os problemas frequentes encontrados no ambiente industrial em válvulas de controle.

A primeira análise realizada utilizou como embasamento as principais ocorrências apontadas pela literatura, fornecendo como resultado os modos de falha em válvulas de controle mais encontrados na indústria. Ao se realizar uma análise com as principais técnicas preditivas aplicadas em válvulas de controle, pode-se relacionar quais são os modo de falha identificáveis por estas técnicas.

Quanto a estas técnicas preditivas, verificou-se que elas abrangem uma quantidade de modos de falha significativa e que apesar de existirem na literatura poucos trabalhos sobre o tema, os resultados podem ser comprovados no ambiente industrial com facilidade. Todavia, ainda existe a oportunidade de aprimoramento das técnicas no sentido de uma abrangência de número maior de modos de falha.

Em relação à gestão da manutenção industrial, foram analisadas as válvulas de controle sob os aspectos da criticidade e possibilidade de liberação, permitindo assim estabelecer uma correlação entre estes aspectos e as diversas estratégias de manutenção. Esta foi uma das contribuições deste

trabalho para os gestores da manutenção que são responsáveis pelas tomadas de decisão.

Na análise de viabilidade técnica, algumas conclusões relevantes puderam ser tiradas:

- A manutenção preditiva pode ser uma importante ferramenta para redução de perdas inesperadas e de auxílio no planejamento das manutenções corretivas planejadas;
- A decisão para aplicação das técnicas preditivas deve levar em consideração o histórico de modos de falha da indústria onde se pretende utilizá-la;
- A aplicabilidade e seleção do grupo alvo para aplicação das técnicas preditivas dependem da criticidade e liberação das válvulas para manutenção quando estas estiverem em operação;
- A probabilidade e impacto da ocorrência da falha também devem ser avaliados pelo gestor da manutenção, na tentativa de mensurar os benefícios e custos advindos da aplicação da tecnologia.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Uma proposta para novos estudos seria analisar os resultados de aplicações consolidadas no ambiente industrial. Deste modo, estas aplicações poderiam evidenciar que as técnicas preditivas podem antecipar falhas.

Outra proposição seria um aprofundamento de estudo das técnicas de diagnósticos *on line* através do posicionador inteligente, de modo a disseminar o entendimento da técnica para o meio acadêmico.

Por fim, se poderia iniciar uma pesquisa com objetivo de aprimoramento das técnicas atuais para atuação em novos modos de falha, bem como na aplicação de tecnologias inovadoras a fim complementar as técnicas atuais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- API - American Petroleum Institute. (1998). **Refinery Control Valves**. Washington.
- Arquivos de manutenção em indústria petroquímica**, (2012). Araucária, Paraná, Brasil.
- Arquivos de manutenção em indústria petroquímica**, (2013). Araucária, Paraná, Brasil.
- Emerson Process Management (2013). **Boletim de produto - Controlador digital de válvula DVC6200**. Sorocaba.
- Emerson Process Management (2013). **Manual de Instruções - Controlador digital de válvula DVC6200**. Sorocaba.
- Guy Borden, Jr., Friedmann P. (1998). **Control Valves**. Durham: Instrument Society of America (ISA).
- Mathias, A. C. (2008). **Válvulas: Industriais, segurança, controle: tipos, seleção, dimensionamento**. São Paulo: Artliber.
- Norma ANSI/ISA-75.05.01-2000. (2005). **Control Valve Terminology**.
- OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, Manual de Frascati. (2007). **Metodologia proposta para a definição da investigação e desenvolvimento experimental**. Coimbra: F- Iniciativas.
- Pinto, A. K., & Nascif Xavier, J. A. (2001). **Manutenção função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Pinto, A. K., & Ribeiro, H. (2002). **Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro: Qualimark.
- Rotork, F. (s.d.). **Rotork Media Library**. Acesso em 22 de setembro de 2013, disponível em Rotork Media: <http://www.rotork-media.com/>
- Siqueira, I.P. (2005). **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark
- Smar, F. (s.d.). **Posicionadores e Diagnósticos**. Acesso em 16 de 03 de 2013, disponível em Smar: <http://www.smar.com/brasil/artigostecnicos/artigo.asp?id=143>