

2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta os principais trabalhos encontrados com relação a pesquisas realizadas em válvulas de alívio de mola em ordem cronológica. A apresentação a seguir é baseada na revisão realizada por Petherick [2]. Salvo indicação em contrário, os trabalhos citados encontram-se referenciados no trabalho de revisão mencionado. Petherick [2] realizou uma revisão bibliográfica de 1979 a 1991 onde relacionou estas referências.

Ray (1978) desenvolveu um modelo dinâmico não linear de uma válvula de alívio de mola formulado pelos princípios fundamentais dos movimentos de corpos rígidos e pelas leis da dinâmica dos fluidos. O autor concluiu que a inércia do escoamento do fluido no orifício produz um efeito de amortecimento no movimento da válvula, que o tempo de abertura da válvula é aproximadamente proporcional à razão entre o comprimento e o raio do orifício, e que a combinação massa-mola pode gerar oscilações e o *chattering*, o qual é caracterizado por uma violenta oscilação do disco, como resultado de altas variações de pressão na entrada da válvula.

Bordelon *et al* (1979) conduziram estudos experimentais para verificar os efeitos da vibração em válvulas de alívio. Eles observaram que a pressão de abertura diminui quando a válvula está submetida a vibrações. As vibrações horizontais possuem maiores efeitos do que as vibrações verticais. Ele sugere no final que as válvulas sejam calibradas sob as mesmas condições vibratórias que trabalharão ou que a vibração seja isolada na válvula.

No final dos anos 70 e início dos anos 80, Sallet *et al* da Universidade de Maryland realizaram vários estudos experimentais com válvulas de alívio de pressão. A maioria destas pesquisas foram direcionadas para a compreensão do fluxo no interior válvula sob diferentes regimes de escoamento. Foram desenvolvidos alguns métodos para o dimensionamento das Pressure Relief Vales (PRV's). Sallet *et al* (1981), estudaram a distribuição do fluxo e da pressão no interior de uma PRV típica, bem como outros parâmetros, como geometria da válvula, frações de abertura, etc., que afetam o desempenho e a capacidade de

alívio da válvula. Os tipos de testes que foram realizados incluíram: a visualização do fluxo, o efeito de engasgamento (*choked flow*) com ar e com escoamento bifásico utilizando gás Freon e água, assim como testes com fluido incompressível, utilizando água. Uma série de vinte testes foi realizada utilizando quatro diferentes posições do disco para três posições diferentes do anel. Sallet *et al* observaram que o coeficiente de descarga da válvula diminuiu nos testes com escoamento incompressível utilizando somente água comparado aos testes com ar e com escoamento bifásico utilizando gás Freon e água. A queda superou 30% quando comparado com os testes em condições de escoamento engasgado.

Singh (1982) desenvolveu um modelo unidimensional para estudar os efeitos de diferentes parâmetros sobre o comportamento dinâmico das válvulas de alívio. Em geral constatou-se que a estabilidade da válvula e o tempo de abertura podem ser aumentados pela redução do anel de ajuste, pela menor constante elástica da mola e por uma menor contra pressão. O autor apontou, ao fim do trabalho, para a necessidade de novos trabalhos para calibrar o modelo desenvolvido com dados reais de válvulas de alívio.

A análise da estabilidade dinâmica de uma válvula de alívio e o estudo dos efeitos de seus componentes na estabilidade da mesma foram apresentados por Catalani (1984). Os fatores que afetam o rendimento da válvula são: o ajuste do anel, as condições de escoamento a montante e o comprimento da tubulação também a montante. Foi desenvolvido um modelo computacional de uma válvula de alívio, investigando o comportamento de componentes pneumáticos e eletromagnéticos no estudo da estabilidade da válvula. Ele concluiu que o desempenho da válvula de alívio melhora com o emprego de dispositivos pneumáticos e eletromagnéticos. A precisão da pressão de abertura e fechamento fica melhor.

MacLeod (1985) explicou que determinando o comportamento das equações diferenciais em certas regiões de pontos críticos, as condições necessárias para evitar o *chattering* podem ser determinadas. MacLeod investigou na estabilidade da válvula utilizando o critério de Routh-Hurwitz. Ele concluiu sugerindo que a estabilidade dinâmica numa válvula de alívio depende da pressão do sistema de dutos e das características reais da válvula de alívio e que é necessário ter um conjunto de equações diferenciais concisas para todo o sistema quando se pretende realizar uma minuciosa análise da estabilidade.

Francis e Betts [3] apresentaram em 1995 um trabalho que analisa o escoamento incompressível dentro de uma válvula de alívio. Usando a técnica dos elementos finitos simularam o escoamento dentro de um modelo bidimensional axi-simétrico de uma válvula real. Foram feitas comparações utilizando resultados experimentais obtidos mediante a técnica do filme de óleo. Os resultados das simulações permitiram visualizar os regimes do escoamento dentro da válvula, permitindo a identificação da separação e re-colamento do escoamento dentro das diferentes partes da válvula.

Uma análise da contrapressão na operação de válvulas de alívio foi realizada por Francis e Betts [4] em 1998, destacando uma contrapressão limite permissível que não produz efeitos na capacidade de descarga da válvula, e um limite crítico no qual a válvula torna-se instável. Estas contrapressões limites foram relacionadas com as características operacionais normais da válvula (pressão de ajuste, pressão de alívio, sobre-pressão e pressão de re-assento). Testes foram realizados em uma válvula desenhada para compensar a contrapressão. Uma contrapressão crítica onde se originam ondas de choque em um escoamento compressível foi identificada e a eficácia da compensação foi analisada com relação à pressão de alívio e à capacidade de descarga da válvula. Os parâmetros que governam os efeitos da contrapressão foram validados com medidas de pressão dentro da válvula.

Um estudo de escoamento bifásico através de válvulas de alívio foi realizado por Boccardi *et al* [5] em 2004. O trabalho mostra dados experimentais produzidos em sistema vapor/água escoando através de uma válvula real com diferentes valores dos principais parâmetros operacionais (título do vapor, pressão na entrada, vazão mássica e contrapressão). As medidas foram comparadas com as simulações realizadas utilizando o modelo de equilíbrio homogêneo. O trabalho mostra que o modelo subestima a vazão mássica em toda a faixa das condições investigadas. Estes resultados implicaram na introdução de um coeficiente de descarga bifásico muito maior que o coeficiente só para vapor. Uma nova correlação para o coeficiente de descarga como uma função dos principais parâmetros de operação foi proposta.

Desde 2008, equipe de pesquisadores do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio vêm estudando o comportamento dinâmico das válvulas de alívio [6]- [8]. O trabalho apresenta um modelo bidimensional de análise do fluxo de uma válvula de alívio de mola realizado com o objetivo de determinar

coeficiente de descarga C_d por uma metodologia mais rigorosa, considerando o comportamento dinâmico da válvula e os detalhes do escoamento. Os resultados foram comparados com um modelo unidimensional. Os resultados mostraram que, embora diferentes posições de equilíbrio do disco e vazões tivessem sido obtidas com cada método, ambos os modelos previram o mesmo comportamento para o coeficiente de descarga, como uma função da abertura normalizada da válvula.

Tendo em vista a revisão apresentada, os trabalhos disponíveis na literatura apresentam uma lacuna quanto à validação de modelos de simulação do comportamento dinâmico de válvulas de alívio tipo mola utilizados atualmente no setor de dutos.

O presente trabalho contribuiu construindo uma bancada experimental para estudar o comportamento dinâmico durante a abertura da válvula de alívio com diferentes condições operacionais. Foi levantada a curva do coeficiente de descarga da válvula pela fração de abertura e foram analisados os comportamentos das pressões a montante e a jusante da válvula, a vazão de alívio e a fração de abertura durante o transiente. Após, os dados experimentais foram comparados com os resultados de dois modelos computacionais utilizados na indústria brasileira e foi proposto um modelo para substituí-los.