

# 1 Introdução

Com o aumento da produção de petróleo e gás no Brasil, a cada ano se constroem mais dutos, terminais e refinarias. Os novos dutos operam com pressões de trabalho cada vez maiores devido ao desenvolvimento tecnológico dos materiais e equipamentos de processo. Quanto maior for o diferencial de pressão em um duto, maior será a vazão e menor será o tempo de transporte. A Figura 1.1 apresenta o mapa com os dutos existentes e futuros da maior transportadora que utiliza dutos como meio de transporte do Brasil, a TRANSPETRO.



Figura 1.1 – Mapa com dutos existentes e futuros do Brasil (TRANSPETRO).

Com o aumento da pressão de trabalho tornou-se cada vez mais necessário a análise e simulação dos processos existentes e principalmente dos

sistemas de segurança, tais como a válvula de alívio, para garantir a segurança operacional.

O dimensionamento e o funcionamento correto das válvulas de alívio de pressão (*Pressure Relief Valves – PRV*) são fundamentais para garantir a segurança de dutos de transporte e equipamentos dos terminais de carga e descarga caso haja alguma condição anormal de operação que gere elevações de pressão indesejadas no duto. Estas válvulas funcionam aliviando a pressão interna do duto caso a mesma ultrapasse um valor pré-definido e calibrado na válvula.

Caso ocorra um bloqueio indevido do duto durante a operação que poderia submetê-lo a uma pressão interna acima da pressão permitida, a válvula de alívio é o dispositivo que evitará o rompimento do duto e um possível vazamento do fluido no meio ambiente. O vazamento de petróleo ou derivados demandaria um grande esforço para a recuperação biológica da área afetada representando elevados custos para a empresa de transporte.

Um comportamento típico de aumento da pressão em dutos longos mediante ao bloqueio do fluxo é a presença de um incremento rápido da pressão que depende do tempo de fechamento, da curva de coeficiente de descarga da válvula de bloqueio, do fluido e da velocidade de propagação do som no meio. Após o salto, a pressão tende a estabilizar-se em um valor que pode ser acima ou abaixo do pico de pressão, dependendo da curva da bomba e do sistema. A Figura 1.2 apresenta um gráfico deste comportamento típico.

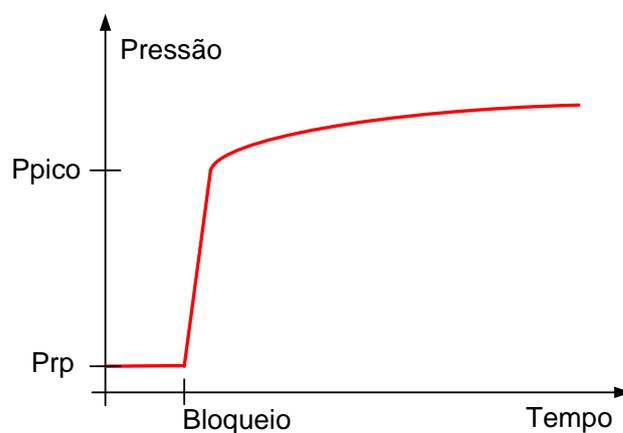


Figura 1.2 – Aumento de pressão típico causado por bloqueio do duto.

Entender o comportamento dinâmico da válvula é importante para prever como a pressão irá se comportar no duto no caso da pressão de ajuste da válvula de alívio se situar entre a pressão de regime permanente ( $P_{rp}$ ) e a pressão de pico ( $P_{pico}$ ). Como a taxa de crescimento da pressão é alta, a válvula deverá possuir uma rápida resposta para garantir a segurança operacional. Caso a pressão de ajuste esteja acima do valor do salto de pressão, o tempo de resposta da válvula não precisará ser tão rápido, pois a pressão aumentará com uma taxa muito menor.

Em dutos curtos o salto de pressão e a estabilização ocorrerão em um intervalo de tempo muito curto. Desta forma, uma rápida resposta da válvula é essencial para garantir a segurança operacional, principalmente se a pressão de ajuste estiver próxima do limite da classe de pressão dos equipamentos instalados no duto ou da pressão máxima operacional admissível (PMOA) do duto.

As válvulas de alívio tipo mola são as mais utilizadas em instalações industriais para garantir a segurança operacional de vasos de pressão e de dutos. Deve-se citar que o dimensionamento destas válvulas é definido nas normas ASME Seção VIII e API 520 [1] utilizando equações que relacionam a vazão de alívio com as características geométricas da válvula e a raiz quadrada do diferencial de pressão, como apresentado na Equação ( 1 ).

$$A = \frac{11,78 Q}{K_d K_w K_c K_v} \sqrt{\frac{G_t}{P_1 - P_2}} \quad (1)$$

onde,

- A      Área requerida de descarga (mm<sup>2</sup>)
- Q      Vazão (L/min)
- $K_d$     = 0,65 quando a PRV está instalada com ou sem um disco de ruptura combinado  
           = 0,62 quando deseja-se dimensionar um disco de ruptura
- $K_w$     Para a contrapressão atmosférica ou se é uma PRV de Mola

Convencional ou se é uma PRV Auto-operada,  $K_w=1$ .

$K_c$  = 1 quando não existe disco de ruptura instalado  
 = 0,9 quando existe disco de ruptura instalado

$K_v$  Fator de correção de viscosidade

$$K_v = \left( 0,9935 + \frac{2,878}{Re^{0,5}} + \frac{342,75}{Re^{1,5}} \right)^{-1,0}$$

$G_l$  Densidade do líquido a temperatura prevista para o escoamento da água em condições normais

$P_1$  Pressão a montante (kPag)

$P_2$  Contrapressão (kPag)

Esta equação é válida para situações em regime permanente e não existe em norma como o coeficiente de descarga da válvula deve se comportar durante a fase de abertura. A curva do coeficiente de descarga *versus* a fração de abertura é resultado do projeto de cada fabricante, e normalmente não está disponível.

Para prever o comportamento da pressão no duto durante o transiente da abertura de uma válvula de alívio é muito importante realizar a correta modelagem da válvula de alívio utilizando a curva do coeficiente de descarga e o tempo de resposta dela. Os modelos comerciais disponíveis para a simulação do comportamento de válvulas de alívio, assim como os modelos mais utilizados na indústria brasileira, não apresentam desempenho satisfatório.

## 1.1. Objetivo

A presente pesquisa tem por objetivo estudar o comportamento dinâmico de válvulas de alívio de mola com fole utilizadas como dispositivos de segurança em dutos. Para isso, foram realizadas atividades experimentais em laboratório e simulações computacionais unidimensionais com modelos comerciais acoplados a modelos de simulação do comportamento dinâmico de válvulas de alívio.

O foco do trabalho é o desenvolvimento de um estudo para avaliação do desempenho de modelos comerciais utilizados na simulação do comportamento dinâmico de válvulas de alívio do tipo mola. Considera-se este estudo uma

contribuição relevante, tendo em vista o fato que as normas de projeto de válvulas de alívio disponíveis utilizam a condição de projeto correspondente à abertura completa da válvula aliada a uma hipótese de escoamento em regime permanente. Informações sobre a variação do coeficiente de descarga da válvula com o percentual de abertura, ou mesmo os tempos máximos de abertura, não são parâmetros contemplados nas normas. No caso de transientes, considera-se que a inclusão destes parâmetros dinâmicos seja fundamental para o projeto adequado de uma válvula de alívio para um duto nestas condições de transientes extremos de pressão.

## **1.2. Organização da Dissertação**

A presente dissertação está dividida em sete capítulos, conforme descrito a seguir.

O capítulo 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica, assim como uma descrição dos trabalhos numéricos e experimentais realizados sobre o comportamento de válvulas de alívio.

O capítulo 3 apresenta as válvulas de alívio tipo mola tratadas na API 520.

O capítulo 4 apresenta os modelos matemáticos de válvulas de alívio tipo mola existentes e o proposto no presente trabalho, que serão utilizados para comparar com os resultados experimentais.

No capítulo 5, a montagem experimental construída e utilizada nos experimentos é apresentada para posteriormente descrever o procedimento experimental.

No capítulo 6 são apresentados os resultados do comportamento da válvula de alívio e a comparação entre os resultados experimentais e os dos modelos numéricos.

Para finalizar, no capítulo 7, são expostas as conclusões e sugestões da dissertação.