

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Mecânica

ENG1138 – Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica



Projeto de Engenharia de Sistema para Testes Dinâmicos
de Válvulas de Alívio do Tipo Mola para Dutos

Luísa Martins Filgueiras

Rio de Janeiro - RJ

Junho/2014

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio

Departamento de Engenharia Mecânica - DEM

Luísa Martins Filgueiras

Relatório de Projeto Final de Graduação
apresentado à banca de Engenharia Mecânica
da Pontifícia Universidade Católica do Rio
de Janeiro – PUC-RIO como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Luis Fernando Azevedo

Coorientador: Luis Fernando Pires

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica: Marcelo de Andrade Dreux

Rio de Janeiro
Junho/2014

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer principalmente à minha família, por todo amor, carinho e união.

Aos meus avós, Paulo e Wilma Martins, que mesmo morando um pouco longe, sempre se mostraram presentes e me apoiaram incondicionalmente.

Aos Professores Luis Fernando Azevedo e Luiz Fernando Pires, orientadores deste projeto, pelo total suporte, opiniões e ajudas, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao meu coordenador do Núcleo de Simulação Termo-hidráulica da PUC-Rio, Leonardo Motta, pela disponibilidade e atenção dada para me ajudar no desenvolvimento do projeto.

Ao Centro de Tecnologia em Dutos e Terminais que abraçaram a ideia do projeto e me ajudaram a fazer acontecer, fornecendo toda a documentação do “Oleoduto de Teste”. Em especial o engenheiro Carlos Machado e o gerente de operações Nelson Levantine que sempre se mostraram solícitos e a disposição às eventuais dúvidas.

A toda equipe SIMDUT que me ensinou tudo que sei sobre simulações termo-hidráulica em dutos, em como utilizar o software Stoner Pipeline Simulator, e vários outros conhecimentos adquiridos que foram de extrema importância para realização do trabalho.

Aos meus familiares e amigos (André Garcia, Bruna Teitelroit, Caroline Lopes e Rodrigo Nogueira), pelo companheirismo para enfrentar as dificuldades e pela forma como sempre me lembram de como a vida vale a pena.

SUMÁRIO

No Brasil, a maioria dos dutos de transporte de petróleo e derivados trabalha com válvulas de alívio do tipo mola em seus sistemas de proteção. Assim, o perfeito dimensionamento e funcionamento dessas válvulas são fundamentais para garantir a segurança de dutos de transporte, caso haja alguma condição anormal de operação que gere sobrepressões. As válvulas de alívio têm a função de aliviar o fluido transportado no duto para evitar o aumento da pressão de operação acima de um limite pré-estabelecido no projeto.

O comportamento dinâmico, isto é, o tempo de resposta e o comportamento da descarga em função da abertura da válvula de alívio, são fundamentais para se definir o valor máximo das pressões resultantes. Este comportamento dinâmico não é estabelecido em normas e raramente encontra-se disponível, mesmo pelo fabricante.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de testes e certificação de válvulas de alívio do tipo mola em um circuito fechado já existente, levantando seus comportamentos estáticos (regimes permanentes) e dinâmicos em instalações experimentais na escala 1:1.

Uma vez projetado e construído o sistema de testes, será possível a produção de um banco de dados das características dinâmicas das válvulas de alívio para serem utilizadas nos simuladores computacionais. Com estes procedimentos, as características das válvulas de alívio serão mais bem conhecidas, o que aumentará a confiabilidade nos novos projetos e nas verificações de segurança operacional das instalações existentes.

Palavras-chave

Válvula de alívio, comportamento dinâmico, segurança, oleoduto.

ABSTRACT

In Brazil, the majority of oil transportation pipelines employ spring-relief valves as one their protection systems. The proper design and operation of these valves are essential to ensure the safety of transportation pipelines, in case any abnormal operational condition appear, generating overpressures. Relief valves are meant to relieve the fluid transported in the pipeline in order to avoid that the operating pressure increases above a designed preset limit.

The dynamic behavior, i.e., the response time and the behavior of the discharge flow as a function of valve opening, are key factors defining the maximum values of the resulting pressures that will prevail in pipeline in case of an abnormal event is present. This dynamic behavior is not established in pipeline standards and is rarely available, even from valve manufacturers.

The aim of the present study is to design a system for testing and certifying of spring-relief valves on an existing flow loop. Determining their static (steady state) and dynamic behaviors in a 1:1 scale experimental facility.

Once designed and constructed, the test system will permit the development of a database of dynamic characteristics of existing relief valves to be used in dynamic pipeline flow simulators. With this information, the characteristics of the relief valves will be better known, what will increase the reliability of new designs and verification of operational safety conditions of existing facilities.

Keywords

Pressure relief valve, dynamic behavior, protection systems, pipeline.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1 Tipos de Válvulas de Alívio	10
3.1.1 Válvula de Alívio Piloto-Operada.....	11
3.1.2 Válvulas de Alívio de Mola.....	12
4. DESCRIÇÃO ATUAL DA INSTALAÇÃO	18
4.1 Descrição dos Componentes.....	18
4.1.1 Área Interna	20
4.1.2 Área Interna	28
4.2 Características Operacionais	29
5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA TESTES DE PRV'S	37
5.1 Descrições da montagem experimental.....	37
5.2 Características dos instrumentos	39
5.2.1 Medidores de vazão	39
5.2.2 Transdutores de Pressão	40
5.2.3 Transdutor linear de deslocamento – LVDT.....	40
5.2.4 Transdutor de temperatura.....	41
5.2.5 Acelerômetro	42

5.2.6	Válvula de bloqueio motorizada.....	42
6.	ADEQUAÇÃO DA INSTALAÇÃO EXISTENTE.....	43
6.1	Instrumentação.....	48
6.2	Estimativas de Custos.....	50
7.	CONCLUSÕES.....	51
8.	BIBLIOGRAFIA.....	53
9.	ANEXOS.....	55
9.1	Folha de Dados das bombas auxiliares.....	55
9.2	Folha de Dados das bombas principais.....	56
9.3	Folha de Dados das Válvulas de Alívio PSV-8010-01A/B.....	57
9.4	Folha de Dados das Válvulas de Controle.....	58
9.5	Folha de Dados dos medidores de vazão.....	60
9.6	Folha de Dados da válvula esfera motorizada XV-8101-03.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aumento de pressão típico causado por bloqueio do duto	2
Figura 2. Exemplos de válvulas de alívio do tipo mola (Ref.: Catálogo da fabricante Crosby)	11
Figura 3. Exemplos de válvulas de alívio piloto-operadas (Ref.: Catálogo da fabricante Crosby)	11
Figura 4. Esquema da válvula de alívio de mola sem fole, tipo JOS da Crosby na esquerda, e com fole, tipo JBS da Crosby na direita (Ref.: Catálogo da fabricante da Crosby)	13
Figura 5. Coeficiente de descarga de uma PRV em função da fração de abertura para várias vazões ^[2]	16
Figura 6. Resultados típicos de um ensaio transiente ^[2]	17
Figura 7. Imagem de satélite retirada pelo Google Earth (2013) do Oleoduto de Teste e seu contorno	19
Figura 8. Planta do terminal terrestre do Oleoduto de Teste	21
Figura 9. Desenho esquemático dos três tanques de armazenamento de produto ..	21
Figura 10. Diagrama simplificado do circuito de bombas	23
Figura 11. Curvas características das duas bombas principais (B102 A/B)	24
Figura 12. Curvas características das duas bombas auxiliares (B101 A/B)	24
Figura 13. Fluxograma simplificado da área de dispositivo de passagem de <i>pig</i> ...	26

Figura 14. Fluxograma do modelo de simulação termo-hidráulicas.....	30
Figura 15. Gradiente hidráulico - Caso 1	32
Figura 16. Gradiente hidráulico - Caso 3a	32
Figura 17. Gradiente hidráulico - Caso 2b	32
Figura 18. Gradiente hidráulico - Caso 3b	32
Figura 19. Gradiente hidráulico - Caso 4	34
Figura 20. Gradiente hidráulico - Caso 5	34
Figura 21. Gradiente hidráulico - Caso 6a	34
Figura 22. Gradiente hidráulico - Caso 6b	34
Figura 23. Cenário incidental - Caso 3a (em relação ao tempo).....	35
Figura 24. Cenário incidental - Caso 3a (em relação à distância)	35
Figura 25. Cenário incidental - Caso 6b (em relação ao tempo)	35
Figura 26. Cenário incidental - Caso 6b (em relação à distância)	35
Figura 27. Cenário incidental - Caso 3a – Em relação ao tempo, com abertura das duas PRV's	36
Figura 28. Cenário incidental - Caso 3a – Em relação à distância, com abertura das duas PRV's	36
Figura 29. Cenário incidental - Caso 6b - Em relação ao tempo, com abertura das duas PRV's.....	36
Figura 30. Cenário incidental - Caso 6b - Em relação à distância, com abertura das duas PRV's.....	36

Figura 31. Desenho esquemático da bancada experimental ^[2]	38
Figura 32 - Fotografia da bancada experimental e detalhe da PRV instrumentada	38
Figura 33. Vista explodida do medidor de vazão tipo turbina	40
Figura 34. Transdutor linear de deslocamento conectado à haste da válvula de alívio	41
Figura 35. Catálogo da fabricante Crosby de válvulas de alívio de mola.....	44
Figura 36. Projeto do sistema de testes de PRV's montado na área dos scrapers no Oleoduto de Teste (<i>SolidWorks,2013</i>)	46
Figura 37. Vista superior do sistema de testes de PRV's montada no galpão dos scrapers no Oleoduto de Teste	47
Figura 38. Vista direita do sistema de testes de PRV's montada no galpão dos scrapers no Oleoduto de Teste	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de orifícios das válvulas de alívio de mola ^[9]	14
Tabela 2 - Características dos tanques de armazenamento de produto.....	22
Tabela 3 - Características dos motores das bombas principais e auxiliares	25
Tabela 4 - Características dos dispositivos de passagem de <i>pig</i>	26
Tabela 5 - Características das válvulas de alívio do tipo mola	26
Tabela 6 - Instrumentos do Oleoduto de Teste	27
Tabela 7 - Características das válvulas de controle	28
Tabela 8 - Resultado das simulações para RP no Oleoduto de Teste – Casos 1, 2a, 3a, 2b e 3b	31
Tabela 9 - Características Operacionais.....	32
Tabela 10 - Resultado das simulações para RP no Oleoduto de Teste – Do caso 4 ao 11	33
Tabela 11 - Características das válvulas de alívio selecionadas ^[11]	45
Tabela 12 - Estimativa de custos para construção da Bancada de Teste	50

SIGLAS

CTDUT – Centro de Tecnologia em Dutos e Terminais

HMOA – Head Máximo Operacional Admissível

LVDT – Transdutor Linera de Deslocamento

ORBEL – Oleoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte

REGAP – Refinaria Gabriel Passos

PMO – Pressão Máxima Operacional

PMOA – Pressão Máxima Operacional Admissível

PRV – Pressure Relief Valves

RP – Regime Permanente

SIMDUT – Núcleo de Simulação Termo-hiráulica em Dutos

SPS – Stoner Pipeline Simulator

1. Introdução

Dentre os diversos meios de transporte de fluidos, os dutos se destacam pelo baixo custo e elevada segurança operacional. Outra característica vantajosa que viabiliza o uso de dutos, é o transporte de grandes quantidades de produtos, diminuindo o tráfego de cargas perigosas por redes rodoviárias, ferroviárias ou marítimas e, conseqüentemente, reduzindo os riscos de acidentes ambientais.

Segundo levantamento feito em março de 2014 pela Petrobrás Transporte S.A. – Transpetro ^[1], o Brasil possui um total de aproximadamente 15 mil quilômetros de dutos em operação, contando com gasodutos e oleodutos. Com o desenvolvimento tecnológico dos equipamentos e materiais de processo, os novos dutos tendem a operar com pressões de trabalho cada vez maiores, e quanto maior for o diferencial de pressão em um duto, maior será a vazão e menor o tempo de transporte. Assim, com o aumento da pressão de trabalho em dutos, surge a necessidade de ampliar a análise e simulação dos processos existentes, principalmente dos sistemas de segurança com válvulas de alívio para garantir a segurança operacional.

As válvulas de alívio de pressão (*Pressure Relief Valve – PRV*) em dutos tem por objetivo a proteção à vida e à propriedade, garantindo a confiabilidade do sistema. Sua função é a de aliviar o fluido transportado para evitar o aumento da pressão de operação acima de um limite pré-estabelecido no projeto. O dimensionamento e correto funcionamento dessas válvulas 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.

Em situações de escoamento em dutos onde o mesmo é bloqueado de forma acidental, a pressão interna se eleva rapidamente numa situação chamada de salto de pressão (*pressure surge*). A válvula de alívio é o dispositivo de segurança que evita o rompimento do duto e um possível vazamento do fluido no meio ambiente. O comportamento dinâmico da válvula, isto é, o tempo de resposta e o comportamento da descarga em função da abertura, são fundamentais para se definir o valor máximo de pressão resultante em dutos nos quais o sistema de alívio atua durante a fase de crescimento de pressão. Esta é uma situação típica em terminais marítimos e em linhas internas, onde se têm elevadas vazões e pressões máximas operacionais admissíveis baixas. Este comportamento dinâmico não é estabelecido em normas e raramente encontra-se disponível, mesmo pelo fabricante. Depois do salto de pressão, esta tende a se estabilizar em um valor acima ou abaixo do pico de pressão, dependendo da curva da bomba e do sistema. A Figura 1 apresenta um gráfico da pressão no tempo deste comportamento típico em válvulas de alívio, retirada do trabalho de Carneiro e Azevedo, 2011^[2].

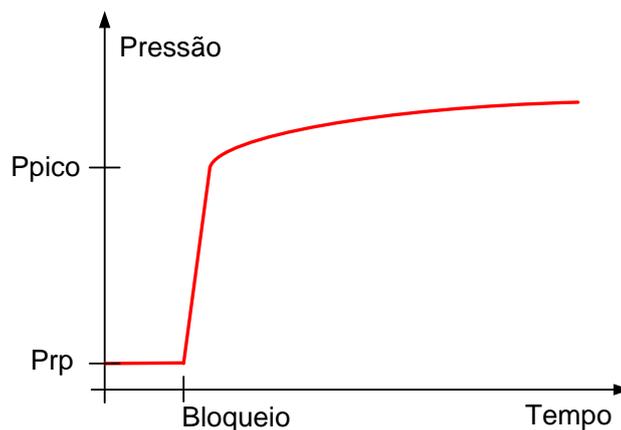


Figura 1. Aumento de pressão típico causado por bloqueio do duto

O entendimento do comportamento dinâmico da válvula é fundamental para prever como a pressão irá se comportar no duto em caso da pressão de ajuste da válvula de alívio se

situar entre a pressão de regime permanente (Prp) e a pressão de pico (Ppico). Nos casos em que a taxa de crescimento da pressão se dá de maneira elevada, é necessário uma resposta rápida e eficaz da válvula de alívio que garanta a segurança operacional. Já, se a pressão de ajuste estiver em um valor acima do salto de pressão, o tempo de resposta desta válvula não precisará ser tão rápido, pois a pressão aumentará com uma taxa muito menor.

O salto de pressão e a estabilização em dutos curtos ocorrem em um curto intervalo de tempo, o que exige uma rápida resposta da válvula de alívio para preservação da segurança. Esse fato pode ser agravado 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.

No Brasil, a maioria dos dutos de transporte trabalha com válvulas de alívio tipo mola em seus projetos, porém não existe nenhum sistema de testes e certificação destas válvulas. As próprias fábricas de válvulas desenvolvem seus processos de fabricação e testes para se adequarem às normas destes equipamentos. O dimensionamento correto dessas válvulas segue as normas ASME Seção VIII ^[3] e API 520 ^[4], 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).

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

Onde,

A Área requerida de descarga [mm²]

Q Vazão [L/min]

K_d Coeficiente igual a 0,65 quando a PRV está instalada com ou sem um disco de ruptura combinado e igual a 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 Coeficiente igual a 1 quando não existe disco de ruptura instalado e igual a 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 à 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.

Com o desenvolvimento da tecnologia, novas concepções de válvulas de alívio são colocadas no mercado com uma velocidade maior do que as normas são revisadas. Assim, o usuário do equipamento ou projetista não possui alternativas, a não ser trabalhar com as características fornecidas pelo fabricante, em testes por eles mesmos realizados. Associado a este fato, verifica-se que as informações das folhas de dados normalmente são restritas a uma única situação de vazão de alívio para uma condição de regime permanente, o que representa a condição de alívio que o projeto requer. O comportamento dinâmico da abertura e do fechamento durante o transiente hidráulico não é apresentado, bem como a curva do coeficiente de vazão pela fração de abertura.

O projeto de novos oleodutos ou a verificação da condição operacional de instalações existentes é realizado com programas computacionais cada vez mais sofisticados. Nestes

programas é possível simular os mais diversos transientes que a instalação pode sofrer. Porém, para que se tenha uma resposta confiável, os sistemas de alívio devem ser corretamente modelados e, neste caso, o comportamento dinâmico das válvulas de alívio deve ser conhecido. Isto é importante não só para os programas a serem desenvolvidos, como para os principais programas comerciais de simulação de dutos utilizados no país, pois estes não contam com modelos dinâmicos precisos de válvulas de alívio tipo mola.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de adaptação de um circuito fechado já existente, em um sistema para testes e certificação de válvulas de alívio utilizadas na indústria de produção, transporte e armazenamento de petróleo e derivados. As características das válvulas serão levantadas a partir de seus comportamentos estáticos (regimes permanentes) e dinâmicos em instalações experimentais na escala 1:1. O circuito, chamado Oleoduto de Teste, localizado no Centro de Pesquisa em Dutos e Terminais (CTDUT) em Duque de Caxias – RJ, possui 12 polegadas de diâmetro nominal e aproximadamente dois quilômetros e meio de comprimento desenvolvido, onde serão instaladas diferentes conexões que permitam a montagem das válvulas de alívio a serem testadas.

Deve-se ressaltar que a atuação destes dispositivos de segurança é um processo arriscado, caracterizado por forças elevadas em intervalos de tempo curtos. Esses fatos impedem a criação de dispositivos de testes experimentais em áreas de grande circulação ou levam à construção de modelos em escala reduzida. Os testes experimentais em escala reduzida necessitam empregar sensores que forneçam valores com baixa incerteza e com intervalos bem pequenos de resposta, pois o salto de pressão e a variação da vazão ocorrem em um intervalo de tempo muito pequeno. Outro problema de um sistema de teste reduzido com pequenos comprimentos de tubulação ($< 1000\text{m}$) são as reflexões das ondas de pressão geradas pelo transiente do teste dinâmico. Essas restrições limitam as faixas de vazão e pressão que podem ser estudadas. Apesar disso, trabalhos anteriores em escala, como o de Kendoush, Sarkis e Al-Muhammedawi (1999) ^[5] e o de Carneiro e Azevedo (2011) ^[2], foram desenvolvidos e serão utilizados como base para o procedimento experimental em escala 1:1.

Inicialmente devem ser estabelecidas as faixas de pressões e vazões de trabalho, bem com os fluidos de teste, para que se determinem os tipos de dispositivos de segurança que poderão ser testados. Para estabelecer essas faixas de pressão e vazão a serem utilizadas no Oleoduto de Teste, serão estudadas as condições operacionais normais e incidentais sem as válvulas de alívio, sendo depois analisado o comportamento transiente de diversos tipos de válvula de alívio. Será utilizado um programa comercial de simulação termo-hidráulica com o objetivo de calcular os transientes do escoamento e as pressões e vazões máximas que o loop suportaria.

Uma vez construído esse sistema de testes adaptado, as características transientes das válvulas de alívio poderão ser mais bem conhecidas o que implica numa maior confiabilidade nos novos projetos e nas verificações de segurança operacional das instalações existentes. Outra vantagem será utilizar essas informações para aperfeiçoar modelos dinâmicos de válvulas de alívio para serem utilizadas nos simuladores computacionais.

3. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo será realizada uma apresentação dos principais trabalhos encontrados na literatura sobre válvulas de alívio, que contribuíram para o presente projeto. Também serão apresentados diferentes tipos de válvulas de alívio existentes no mercado, mas com um foco maior nas do tipo mola, analisando o seu funcionamento, características estáticas, dinâmicas e testes experimentais já feitos.

1991 – Petherick e Birk ^[6] realizaram uma revisão bibliográfica de 1979 até 1991 na área de tecnologia de válvulas de alívio em suas diversas aplicabilidades. O artigo concluiu que a maioria dos estudos experimentais de válvulas de alívio (*Pressure Relief Valve – PRV*) se concentram em técnicas de visualização do escoamento, não considerando as características dinâmicas da PRV, e a falta de conhecimento dessas características diminui o melhor desenvolvimento de modelos computacionais com válvulas de alívio.

1998 – Francis e Betts ^[7] apresentaram um trabalho em que foi realizado uma análise da contrapressão na operação de válvulas de alívio, 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 da válvula de alívio, ou seja, a pressão de ajuste, a pressão de alívio, a sobrepressão e a pressão de reassento. Foram realizados testes em uma válvula desenhada para compensar a contrapressão e identificou-se uma contrapressão crítica onde se originam ondas de choque em um escoamento compressível. A eficácia desta contrapressão 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.

1999 – Kendoush, Sarkis e Al-Muhammedawi ^[5] fizeram um estudo experimental do desempenho termo-hidráulico de válvulas de alívio de segurança. O estudo mostrou que as condições de uma ou duas fases a montante da válvula, causam mudanças significativas no escoamento do fluido dentro da válvula de alívio. Foram testadas cinco válvulas, cobrindo uma faixa de pressão de 4,5 a 75 bar. A solução numérica unidimensional considerou o regime transiente e bifásico, utilizando o método das características para resolver as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia, representando bem os dados experimentais.

2008 – Azevedo *et al* ^[8] mostra a importância das válvulas de alívio no setor dutoviário e a falta de conhecimento dos usuários sobre o comportamento e a resposta deste dispositivo em regime transiente. Foi visto que as análises de projeto dessas válvulas eram simplificadas, considerando o comportamento quase estático, além das informações fornecidas pelos fabricantes serem bem limitadas. Desta forma, foi desenvolvido um modelo numérico bidimensional para caracterizar o comportamento dinâmico de uma válvula de alívio do tipo mola utilizando os princípios de conservação de massa e quantidade de movimento, com a equação dinâmica de sólidos. O coeficiente de descarga da válvula de alívio foi determinado numericamente em um modelo simplificado bidimensional com o software FLUENT. As características dinâmicas foram analisadas em relação à pressão de ajuste da válvula, a elevação do disco e os parâmetros da mola durante o escoamento de descarga em regime transiente.

2011 – Carneiro ^[2] realizou um estudo numérico e experimental sobre o comportamento dinâmico de válvulas de alívio de mola para alívio de transientes hidráulicos de pressão em dutos. Uma bancada de teste em escala laboratorial foi construída para testar uma válvula de alívio certificada. Em paralelo, foram testados três modelos de simulação do comportamento dinâmico de válvulas de alívio em um programa comercial de simulação de transientes

hidráulicos. O único modelo testado que não incorporou informações detalhadas sobre a variação do coeficiente de descarga em função da fração de abertura da válvula, foi também o único que não apresentou desempenho satisfatório. Assim, Carneiro mostra que esse modelo, utilizado pela indústria, não descreve bem o comportamento da válvula de alívio, já que, para a previsão do desempenho da válvula, é fundamental saber a variação do coeficiente de descarga; informação esta, não fornecida pelos fabricantes.

3.1 Tipos de Válvulas de Alívio

Pressure Relief Valves – PRV, é, em inglês, o termo utilizado para denominar as válvulas de alívio de pressão projetadas para fluidos incompressíveis, e as válvulas para fluidos compressíveis, como gases e vapores, são denominadas *Pressure Safety Valves* – PSV. No caso da utilização de uma válvula de alívio para ambos os fluidos, compressíveis e incompressíveis, dependendo da aplicação, recebem o nome de *Safety Relief Valves* – SRV.

Atualmente, estão presentes no mercado diversos modelos de válvulas de alívio, cada um utilizando um mecanismo de funcionamento diferente. O mais comum, encontrado em instalações industriais, são as válvulas de alívio do tipo mola.

O American Petroleum Institute, em sua norma API 520 ^[4], classifica as válvulas de alívio em três grupos de acordo com o seu acionamento: Válvulas de Alívio do tipo Mola (Figura 2), Válvulas de Alívio Piloto-Operada (Figura 3) e demais dispositivos de alívio de pressão. Serão detalhadas a seguir, os dois tipos principais de válvulas de alívio: as do tipo mola e piloto operadas.



Figura 2. Exemplos de válvulas de alívio do tipo mola (Ref.: Catálogo da fabricante Crosby)



Figura 3. Exemplos de válvulas de alívio piloto-operadas (Ref.: Catálogo da fabricante Crosby)

3.1.1 Válvula de Alívio Piloto-Operada

As válvulas piloto-operadas ou de ação indireta possuem uma válvula principal que é combinada e controlada por uma pequena válvula de alívio. Estas válvulas podem ser de ação rápida ou modulante e o piloto pode ser com ou sem escoamento. Possuem alta capacidade de

alívio, ocupam pouco espaço, suportam altas pressões, baixas diferenças de pressão e altas contrapressões. Porém, são mais caras, pouco utilizadas e não serão detalhadas neste projeto. Os pilotos destas válvulas possuem tubos de monitoramento com pequenos diâmetros que podem ser obstruídos facilmente. Geralmente só são encontradas em dutos que transportam gás liquefeito de petróleo (GLP) devido à contrapressão da válvula ser alta pois a pressão de vapor do fluido é de 14,5 kgf/cm².

3.1.2 Válvulas de Alívio de Mola

É o tipo de válvula de alívio mais encontrado nas instalações. Elas são dispositivos de segurança passivos, pois são baseados na ação da força exercida por uma mola contra a força exercida pela pressão do duto atuando sobre um disco. O desequilíbrio das forças produz a atuação da válvula de forma automática, não necessitando de qualquer fonte de energia externa. O desequilíbrio de forças em sentido oposto produz o fechamento da válvula depois de restabelecidas as condições normais de pressão, evitando o alívio adicional de fluido.

Esse tipo de válvula é disponível com ou sem fole, tendo em comum que a resistência à abertura é gerada por uma ação mecânica direta de uma mola. Estas são carregadas axialmente e ao atingir uma pressão pré-definida de ajuste se abrem automaticamente devido à ação do escoamento que exerce pressão sobre o disco da válvula. A Figura 4 mostra os desenhos esquemáticos das válvulas sem e com fole respectivamente, descrevendo seus componentes. Na válvula de alívio sem fole, a contrapressão (pressão nas linhas de alívio) influi na abertura da válvula. Enquanto que, na válvula de alívio com fole, a contrapressão não influi na abertura da válvula e a pressão de abertura da válvula será a pressão de ajuste.

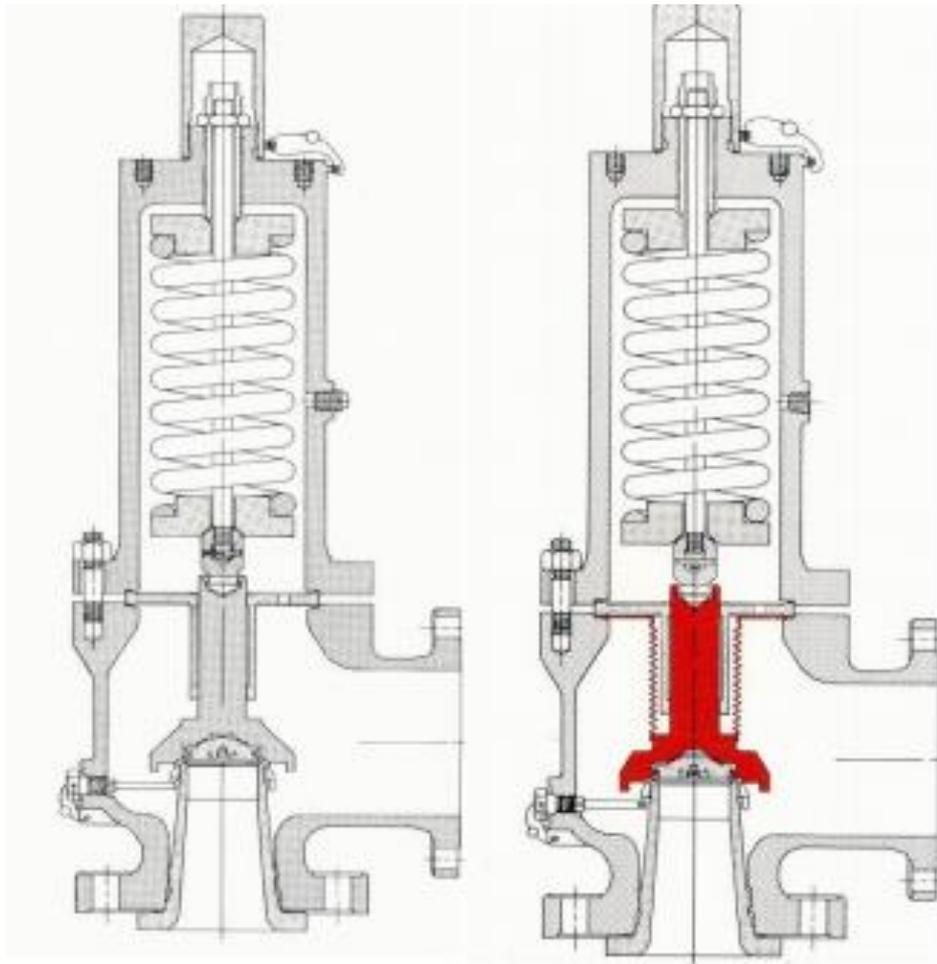


Figura 4. Esquema da válvula de alívio de mola sem fole, tipo JOS da Crosby na esquerda, e com fole, tipo JBS da Crosby na direita (Ref.: Catálogo da fabricante da Crosby)

A força, devido à pressão do fluido, atua na parte inferior do disco de fechamento da válvula e é contrabalançada por uma força mecânica direta que atua em sentido contrário devido à mola, pelo peso do disco e por uma força imposta pela contrapressão do fluido, caso a válvula não possua fole. Normalmente estas válvulas atingem sua capacidade de descarga certificada com uma sobrepressão de 10% para gases e vapores e de 10 a 25% para líquidos.

São fabricadas com diâmetros de orifício do bocal de entrada padronizados segundo a norma API 526 ^[9] conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de orifícios das válvulas de alívio de mola [9]

Orifício	Área (pol. ²)	Diâmetro (mm)
D	0,110	9,5
E	0,196	12,7
F	0,307	15,9
G	0,503	20,3
H	0,785	25,4
J	1,287	32,5
K	1,838	38,8
L	2,853	48,4
M	3,600	54,4
N	4,340	59,7
P	6,380	72,4
Q	11,050	95,3
R	16,000	114,6
T	26,000	146,1

Trabalhos anteriores (Maiti, Saha, e Watton, 2002 [10]; Ortega *et al*, 2008 [8]) demonstraram que o comportamento dinâmico de uma válvula de alívio de mola pode ser representado pela formulação de um sistema massa-mola-amortecedor, conforme Equação (2)

$$m\ddot{Y} + c\dot{Y} + kY = \frac{A}{L}(P_a - P_{SP}) \quad (2)$$

Onde:

m Massa do conjunto móvel (disco + haste) (kg).

c Coeficiente de amortecimento (kg/min).

k Constante da mola (kg/min²).

A Área do orifício de entrada da válvula (m²).

L Curso total da mola (m).

Y Deslocamento do disco

P_a Pressão a montante da válvula

P_{SP} Pressão de setpoint

A Equação (2) determina a variação da fração de abertura da válvula em função da força externa ($P_a - P_{SP}$). Porém, para calcular a vazão de alívio é necessário estabelecer como a abertura da válvula varia em função da força. A relação é dada pelo coeficiente de descarga da válvula (C_d), calculado pela Equação (3). Apesar dessa equação ser aplicável a regimes permanentes, Carneiro e Azevedo (2011) [2] demonstraram que ela também é aplicável durante o regime transiente.

$$Q = C_d A \sqrt{2 \frac{(P_a - P_b)}{\rho}} \quad (3)$$

Onde:

Q Vazão de alívio.

A Área do orifício da válvula.

C_d Coeficiente de descarga da válvula, função da fração de abertura

P_a Pressão a montante da válvula de alívio

P_b Pressão a jusante da válvula de alívio

Assim, o comportamento do C_d em função da abertura, pode ser determinado fixando a haste da válvula em diferentes posições e medindo a vazão de alívio e o diferencial de pressão entre a entrada e a saída da válvula, de forma a se obter um comportamento similar ao apresentado na Figura 5.

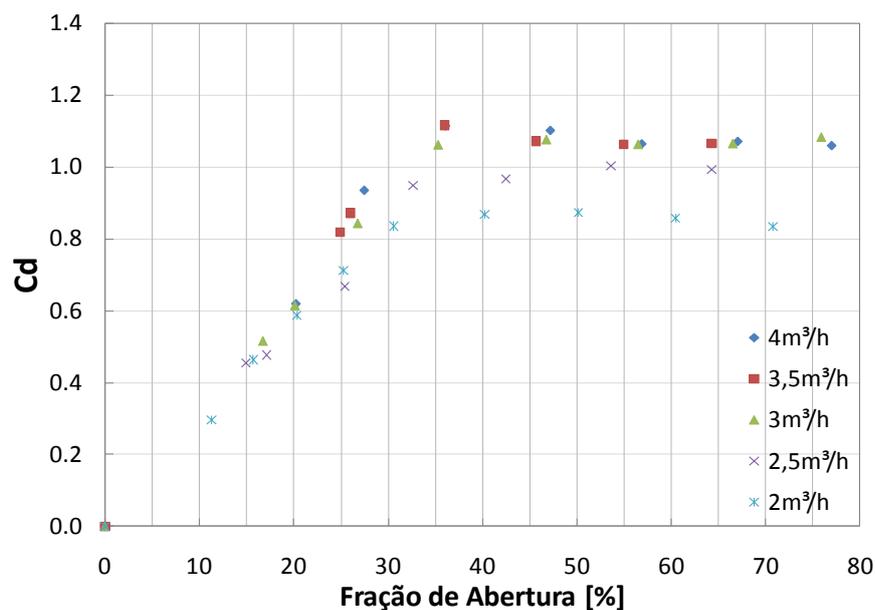
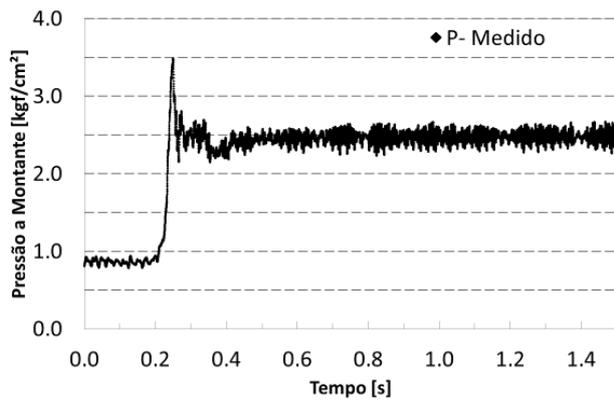
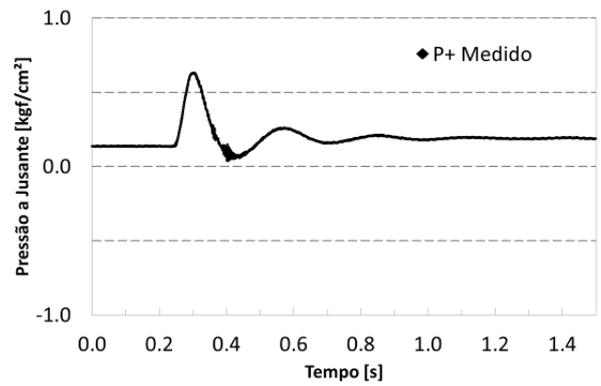


Figura 5. Coeficiente de descarga de uma PRV em função da fração de abertura para várias vazões [2]

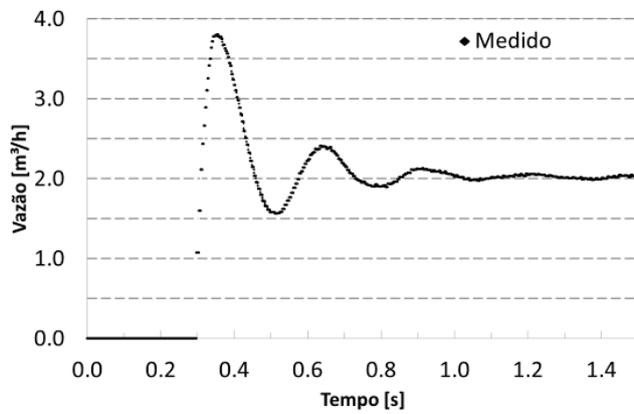
Observou-se que para a válvula testada, o *setpoint* calibrado e certificado em bancada não era o valor da pressão para o qual a válvula começava a abrir nos transientes gerados na bancada. Além disso, dependendo do transiente gerado, a sobrepressão medida era maior que os 10% definidos na norma (API 520) para válvulas certificadas. Logo, esses parâmetros também deverão ser avaliados para as válvulas a serem testadas no Oleoduto de Teste. Um resultado típico de um teste transiente está apresentado na Figura 6, onde são registradas as variações de pressão a montante, a jusante da válvula de alívio, a vazão de alívio e a fração de abertura.



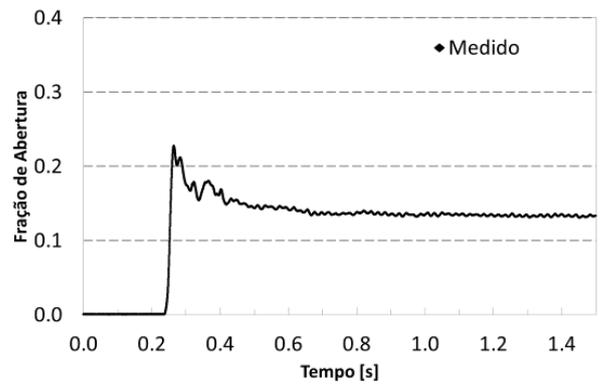
(a) Pressão a Montante



(b) Pressão a Jusante



(c) Vazão



(d) Fração de Abertura

Figura 6. Resultados típicos de um ensaio transiente [2]

4. Descrição atual da instalação

O Capítulo 4 visa descrever as atuais características físicas e operacionais da instalação que se pretende adaptar para um sistema de testes e certificação de válvulas de alívio. Uma das características importantes desse oleoduto, chamado de Oleoduto de Teste, é a disponibilidade de acesso a todos os equipamentos de operação e controle necessários em um duto de campo. Apesar de não ter um comprimento comparável com os grandes dutos terrestres existentes no Brasil, o duto projetado, com aproximadamente 2,4 quilômetros de extensão, possibilita a reprodução de qualquer tipo de operação realizada em dutos de campo, como pesquisa, desenvolvimento e testes de equipamentos, produtos, procedimentos operacionais e novas tecnologias relevantes ao setor dutoviário. Vale ressaltar que as características do Oleoduto de Teste, presentes neste capítulo, foram retiradas de documentos internos fornecidos pelo Centro Tecnológico em Dutos e Terminais – CTDUT.

4.1 Descrição dos Componentes

A instalação envolve um circuito piloto de duto (“loop”) para testes de fluidos incompressíveis, fruto do levantamento das necessidades de pesquisa, realizado por pesquisadores de universidades e centros de pesquisa do país, junto com as operadoras prestadoras de serviços e fabricantes de equipamentos. O oleoduto está localizado dentro do CTDUT, no município de Duque de Caxias – RJ, possui 12 polegadas de diâmetro nominal e uma extensão de aproximadamente 2,4 quilômetros de comprimento desenvolvido, podendo operar com óleo cru, óleo diesel ou água.

A seguir será apresentada uma relação das principais características do Oleoduto de

Teste:

- Operação em circuito fechado;
- Comprimento desenvolvido: 2,4 km;
- Diâmetro nominal: 12”
- Espessura do duto: 0,250”
- Classe de pressão: 300#;
- Vazão máxima de operação com óleo: 550 m³/h;
- Vazão máxima de operação com água: 800 m³/h;
- Pressão de projeto: 50 kgf/cm²;
- Arranjo das bombas booster: paralelo;
- Arranjo das bombas principais: série ou paralelo
- Acionamento das bombas principais: motor elétrico com variador de velocidade;

4.1.1 Área Interna

A região interna da instalação é composta por um terminal terrestre que possui uma área de tancagem, uma área de bombeamento, uma área de lançamento e recebimento de *pig* e redes de energia elétrica, de drenagem oleosa, de drenos de óleos residuais e de água para combate a incêndio além da infraestrutura do sistema de automação. A Figura 8 apresenta uma planta do terminal terrestre onde podem ser identificados os tanques de armazenamento de produtos, o sistema de bombeamento na área de bombas e a área de lançamento e recebimento de *pig* em que estão localizados dois scrapers.

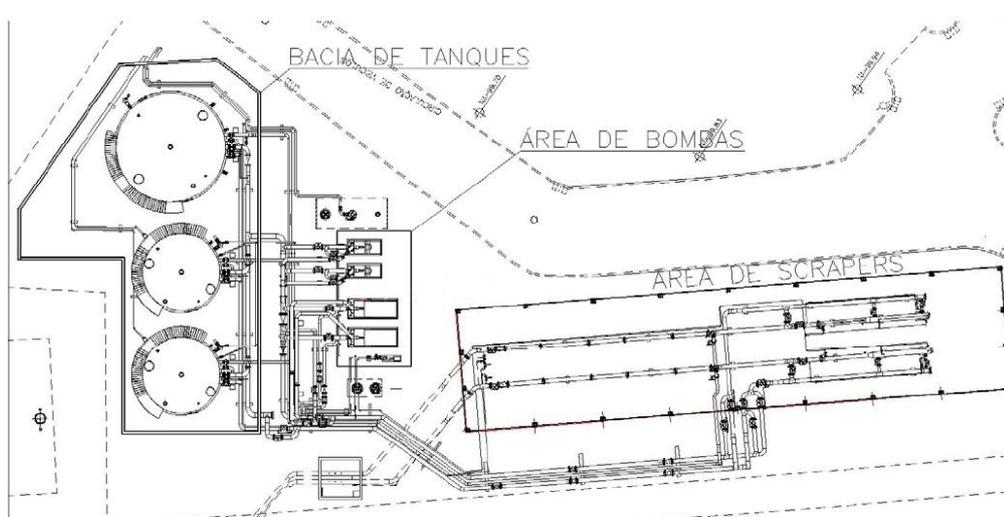


Figura 8. Planta do terminal terrestre do Oleoduto de Teste

O armazenamento de produtos é realizado em três tanques verticais atmosféricos, conforme ilustrado na Figura 9, localizados no interior de uma bacia de contenção.

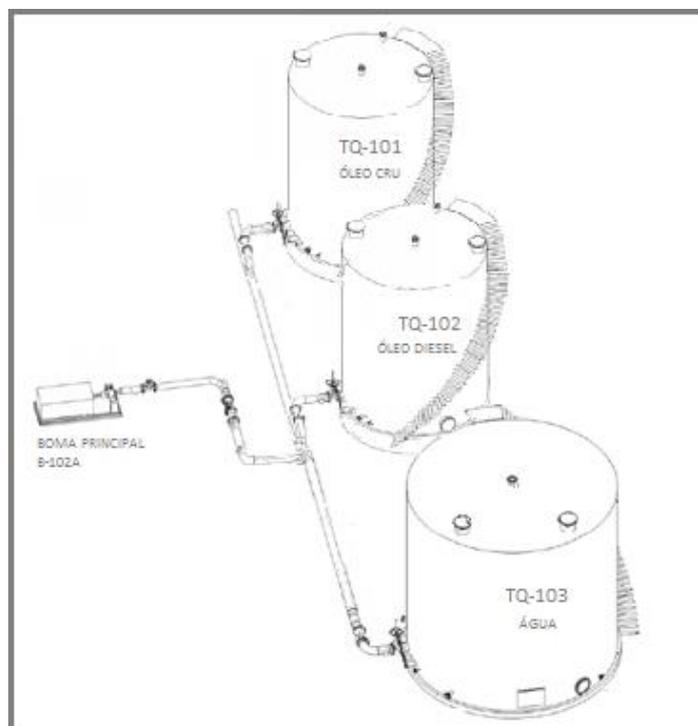


Figura 9. Desenho esquemático dos três tanques de armazenamento de produto

Os produtos (óleo cru, óleo diesel e água) são supridos pelo Terminal de Campos Elísios (TECAM) da Transpetro que tem divisa com o terreno. Existem duas tubulações que interligam os tanques de óleo cru e diesel às linhas do TECAM, enquanto que o tanque de água é suprido através da rede de água de incêndio do TECAM. A Tabela 2 apresenta as principais características dos três tanques da instalação.

Tabela 2 - Características dos tanques de armazenamento de produto

Tanque	Produto	Volume (m³)	Diâmetro (m)	Altura (m)
TQ-101	Óleo cru	321	6,48	9,76
TQ-102	Diesel	321	6,48	9,76
TQ-103	Água	601	9,15	9,15

A movimentação do produto é realizada por meio de quatro bombas centrífugas, sendo duas auxiliares (B-101A e B-101B) e duas principais (B-102A e B-102B), localizadas em um único prédio, próximo à área de tancagem. As duas bombas principais podem variar o tipo de arranjo entre paralelo, série ou com apenas uma em operação. A Figura 10 apresenta um diagrama simplificado da organização das quatro bombas na instalação.

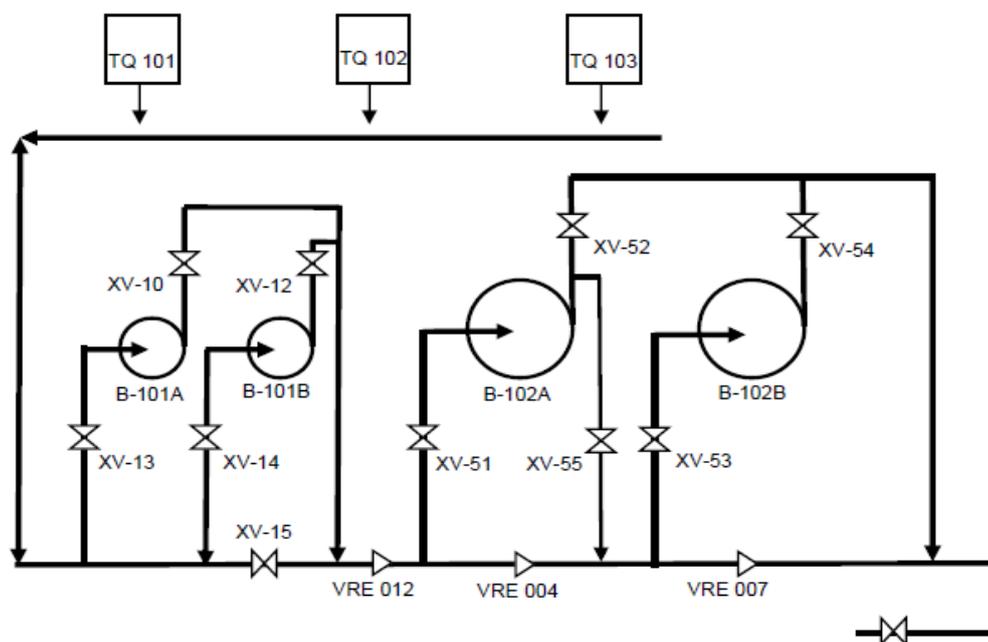


Figura 10. Diagrama simplificado do circuito de bombas

As bombas principais utilizadas são idênticas, com um rotor de 470 mm de diâmetro e uma altura manométrica total de 120 m. As bombas principais são acionadas por um motor elétrico trifásico junto com um variador de velocidade que possibilita o ajuste da rotação da bomba e, por consequência, variar a vazão do sistema. Com este conjunto bomba, motor e inversor torna-se possível estabelecer diferentes regimes permanentes no duto. A Figura 11 apresenta as curvas características de altura manométrica (*head*) e potência em função da vazão das bombas principais.

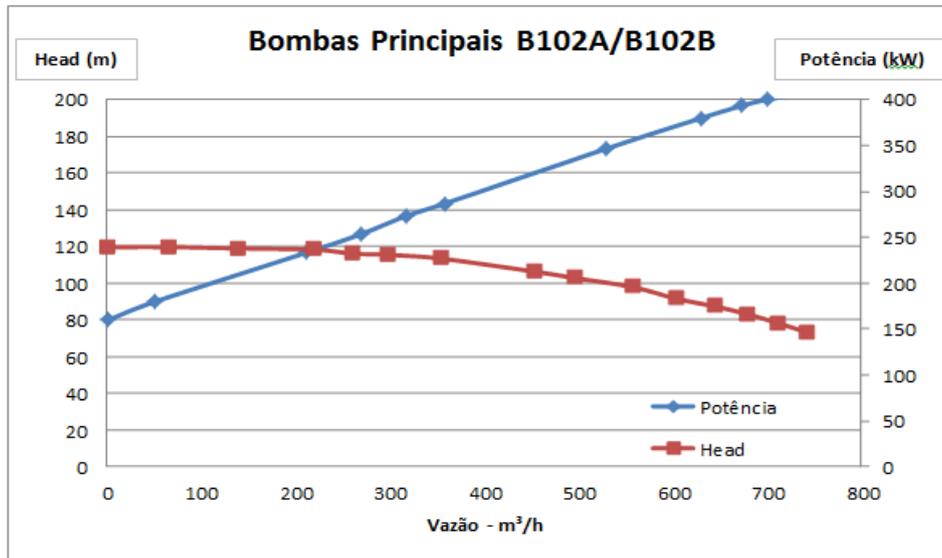


Figura 11. Curvas características das duas bombas principais (B102 A/B)

Já as bombas auxiliares, também idênticas, possuem um rotor menor com diâmetro de 427 mm e uma altura manométrica total de 50 m. A Figura 12 apresenta as curvas características de altura manométrica (*head*) e de potência em função da vazão da bomba auxiliar.

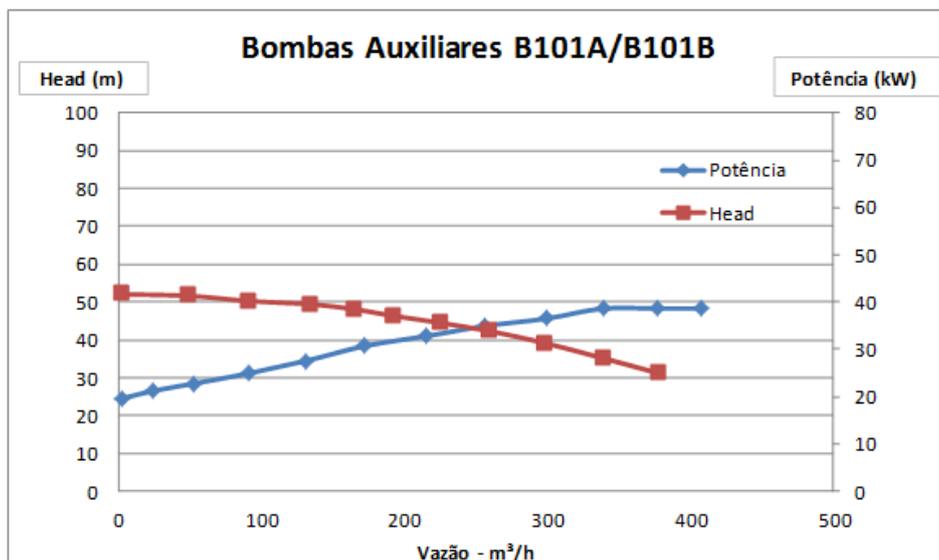


Figura 12. Curvas características das duas bombas auxiliares (B101 A/B)

Um motor elétrico trifásico é acoplado a cada bomba booster. A Tabela 3 apresenta as características dos motores trifásicos acoplados tanto às bombas principais quanto às auxiliares. Informações mais detalhadas sobre as bombas podem ser encontradas nas folhas de dados fornecidas pelo CTDUT nos anexos 9.1 e 9.2.

Tabela 3 - Características dos motores das bombas principais e auxiliares

Características do motor	Bombas Principais		Bombas Auxiliares	
	Valor	Unidade	Valor	Unidade
Carcaça	IPW 55	-	IPW 55	-
Rotação nominal	1800	RPM	1160	RPM
Acionado por variador de velocidade	Sim	-	Não	-
Rotação mínima	200	RPM	-	-
Frequência nominal	60	Hz	60	Hz
Voltagem nominal	440	Volts	440	Volts
Potência nominal	220	kW	55	kW

No ponto inicial e final do Oleoduto de Teste, dentro da área interna da instalação, há um galpão com dois scrapers lançadores/recebedores de *pig* (LRP-1 e LRP-2) e trechos removíveis de tubos (carretéis) para permitir boas condições de operação e manuseio. Esta área tem sua fundação estaqueada e seu piso é em laje de concreto incluindo uma bacia de contenção dos lançadores/recebedores. Os dados dos dispositivos de passagem de *pig* estão detalhados na Tabela 4. O volume informado dos lançadores/recebedores é o volume geométrico à pressão de 1 atm e temperatura de 20 °C. A Figura 13 apresenta um fluxograma simplificado da área dos dispositivos de passagem de *pig*, exemplificado com o LRP-1.

Tabela 4 - Características dos dispositivos de passagem de *pig*

TAG	LRP-1	LRP-2
Tipo	Lançador/ Receptor	Lançador/ Receptor
Diâmetro	22"	22"
Tipo de tampa	Fechamento rápido	Fechamento rápido
Volume da câmara de <i>pig</i>	0,97 m ³	0,97 m ³
Dreno	3"	3"

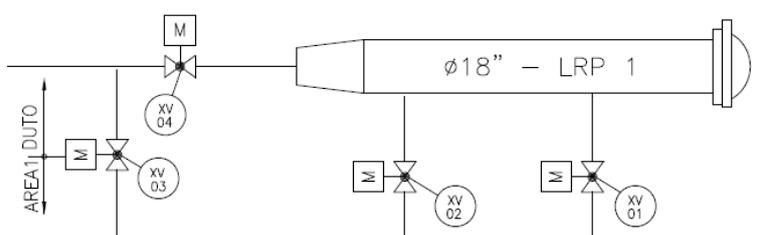


Figura 13. Fluxograma simplificado da área de dispositivo de passagem de *pig*

Na saída dos canhões lançadores/recebedores de *pig* estão situadas duas válvulas de alívio e segurança (PSV-8101-01A e PSV-8101-01B) para proteção do oleoduto. A Tabela 5 apresenta as especificações destas válvulas. Maiores informações sobre as válvulas de alívio responsáveis pela segurança do Oleoduto de Teste encontram-se na folha de dados fornecida pelo CTDUT no anexo 9.3.

Tabela 5 - Características das válvulas de alívio do tipo mola

TAG	PSV-8010-01A	PSV-8010-01A
Serviço	Alívio do duto	Alívio do duto
Linha/Equipamento	Saída do LRP-1	Saída do LRP-1
Tipo de castelo	Fechado	Fechado
Tamanho e tipo - entrada	2 ½" – 300#	2 ½" – 300#
Tamanho e tipo - saída	4" – 150#	4" – 150#
Tampa	Roscada	Roscada
Pressão de ajuste	22 kgf/cm ²	22 kgf/cm ²
Sobrepessão	21%	21%

Para o presente trabalho, estas válvulas são de grande importância, uma vez que as pressões de ajuste dessas válvulas limitam a faixa de válvulas de alívio que poderão ser testadas no duto. Através da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** podemos ver que só será possível testar válvulas com a pressão de ajuste inferior a 22 kgf/cm², pois caso contrário, a válvula de segurança do circuito será acionada e o teste perderá seu propósito.

A Tabela 6 apresenta a lista de instrumentos que fazem parte do controle de processo e a sua quantidade. Vale ressaltar que todas as válvulas possuem plaquetas de identificação de acordo com a Norma-115, permitindo a rastreabilidade a qualquer tempo.

Tabela 6 - Instrumentos do Oleoduto de Teste

Descrição	Quantidade
Válvulas motorizadas	41
Válvulas de alívio e segurança	17
Sistema de Telemedição dos tanques	02
Chaves de fluxo	02
Densímetros	04
Manômetros	02
Transmissores de pressão	16
Transmissores de pressão diferencial	04
Transmissores de nível	02
Transmissores de temperatura	06
Medidores de vazão ultrassônicos	02
Detectores de passagem de <i>pig</i>	17
Chaves de nível para tanques enterrados	02
Chaves de nível	05

Dentre as 41 válvulas motorizadas do Oleoduto de Teste, duas são de controle. Uma delas está localizada no envio (UV-40), depois do medidor de vazão ultrassônico, e controla a vazão e pressão a jusante, além da pressão na sucção das bombas principais para garantir uma pressão mínima e evitar o fenômeno de cavitação nas bombas. A outra válvula de controle (UV-50), localizada no recebimento do circuito logo após o medidor de vazão ultrassônico (FE-30),

controla a pressão a montante e a jusante. A Tabela 7 possui as principais características sobre as duas válvulas de controle e maiores informações poderão ser obtidas na folha de dados fornecida pelo CTDUT, no anexo 9.4.

Tabela 7 - Características das válvulas de controle

TAG	Localização	Tipo	Diâmetro (pol.) / Classe de pressão	Acionamento	Estremidades
UV-40	Galpão dos scrapers (na descarga das bombas principais)	Globo	10" / #300	Auto-operada	Flangeada
UV-50	Galpão dos scrapers - Recebimento	Globo	8" / #300	Auto-operada	Flangeada

4.1.2 Área Interna

A área externa é composta pelo duto propriamente dito que é enterrado em praticamente toda a sua extensão, tornando-se aéreo no trecho de retorno do loop (km 1,3) e junto à área interna do CTDUT, já mencionado anteriormente.

O Oleoduto de Teste é constituído de aço carbono API 5L, grau X65, 12" de diâmetro nominal, 0,250" de espessura, classe #300, podendo operar com óleo cru, diesel ou água a temperatura ambiente e pressão de operação de 20 kgf/cm², tendo contudo, pressão de projeto estabelecida a 50 kgf/cm².

Nos pontos de afloramento do duto, junto aos lançadores/recebedores de *pig*, foram instaladas juntas de isolamento elétrico do tipo monobloco, destinadas a limitar o fluxo de corrente de proteção catódica aos trechos enterrados do duto.

O revestimento anticorrosivo externo de junta de campo soldada compreende em um sistema de revestimento de polietileno extrudado de tripla camada e com temperaturas de operação compreendidas entre -40 e 80 °C.

4.2 Características Operacionais

Para verificar os valores operacionais de projeto e as faixas de válvulas de alívio que poderão ser testadas, foram estudadas as condições operacionais normais e incidentais do Oleoduto de Teste utilizando um programa comercial de simulação termo-hidráulica, *Stoner Pipeline Simulator* (SPS) ^[11], a fim de calcular a vazão e o perfil de pressão do Oleoduto de Teste nessas condições. O modelo do circuito desenvolvido para esse programa utiliza as características físicas do duto e seus principais equipamentos. O escoamento foi modelado a 20°C não existindo troca de calor com o ambiente. Como o SPS não trabalha com a configuração de um circuito fechado, foi necessário modelar um tanque somente para o envio e outro para o recebimento. O modelo de válvula de alívio implementado no programa *Stoner Pipeline Simulator* simula apenas a válvula como um equipamento individual. Os equipamentos a jusante da válvula, como a linha de descarga e o tanque de alívio, devem ser modelados de forma independente no programa. As informações encontradas na documentação do programa são superficiais, não permitindo que se entenda completamente a lógica do funcionamento do modelo dinâmico da válvula em detalhes. O desenho do fluxograma do modelo de simulação é apresentado na Figura 14.

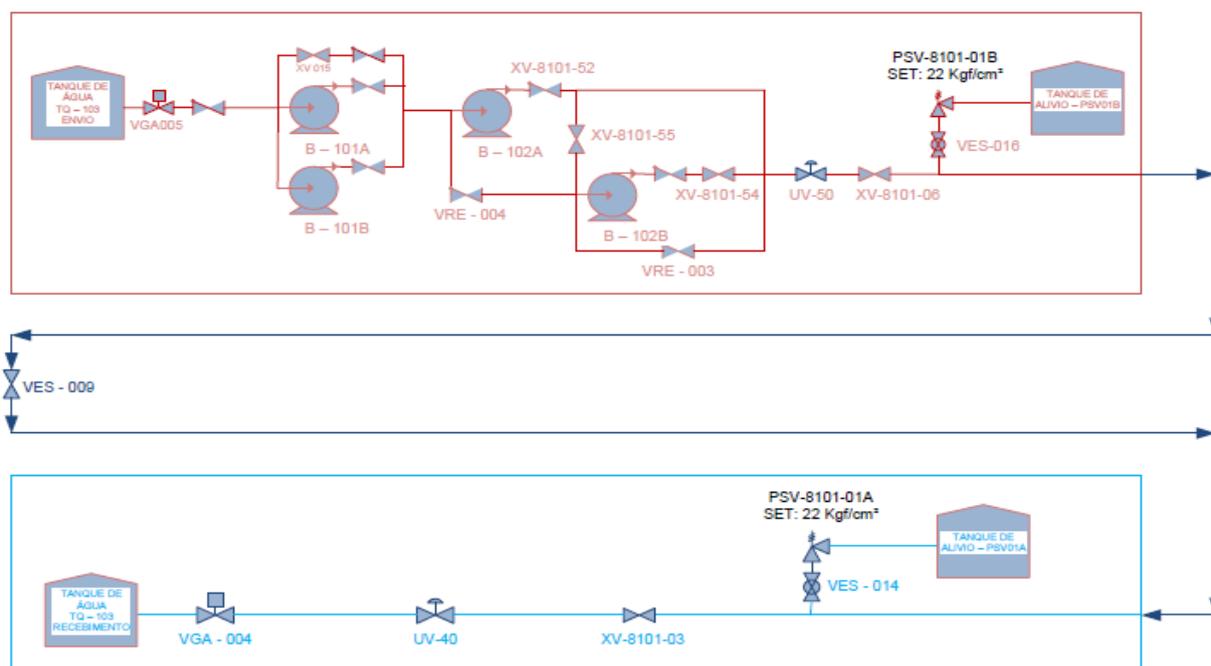


Figura 14. Fluxograma do modelo de simulação termo-hidráulica

Foram realizadas simulações termo-hidráulicas para definir as faixas de pressões e vazões em regimes permanentes (RP) do oleoduto, utilizando água como fluido de trabalho. Numa primeira análise foi mantida a rotação máxima do motor acoplado à bomba principal e a vazão máxima estabelecida em projeto sendo controlada pela válvula UV-50 no envio. A válvula UV-40, situada no recebimento foi ajustada de forma que a operação ocorresse com a coluna fechada. Com isso, foi possível encontrar as pressões existentes ao longo do oleoduto. A Tabela 8 apresenta os resultados da simulação para os três tipos de arranjo de bombas com as seguintes variáveis operacionais: pressão a montante (P-), a jusante (P+) e a fração de abertura das válvulas de controle, a rotação do motor acoplado à bomba principal e a vazão do Oleoduto de Teste. Devido à similaridade dos resultados dos casos 2a e 3a, serão apresentados os gradientes hidráulicos dos regimes permanentes apenas do caso 1 na Figura 15. Gradiente hidráulico - Caso 1 e do caso 3a na Figura 16.

Tabela 8 - Resultado das simulações para RP no Oleoduto de Teste – Casos 1, 2a, 3a, 2b e 3b

Arranjo De Bombas (Todos com duas bombas auxiliares em paralelo)	Caso	Rotação (rpm)	Válvula de Controle UV-50 (Envio)			Válvula de Controle UV-40 (Recebimento)			Vazão [m³/h]
			P- [kgf/cm²]	P+ [kgf/cm²]	FR [%]	P+ [kgf/cm²]	P- [kgf/cm²]	FR [%]	
1 bomba principal (B102A)	1	1800	12,04	9,00	100,0	5,50	1,00	94,5	689
2 bombas principais em paralelo	2a	1800	14,29	9,77	98,6	5,00	1,00	100,0	800
2 bombas principais em série	3a	1800	17,14	9,77	91,8	5,00	1,00	100,0	800
2 bombas principais em paralelo	2b	1800	14,35	10,31	100,0	5,70	1,00	97,9	800
2 bombas principais em série	3b	1800	17,22	13,15	100,0	8,50	1,00	91,5	800

Podemos perceber que no Caso 1 a UV-50 não está restringindo o escoamento e a vazão não chegou ao máximo permitido no oleoduto (800 m³/h). Nos casos 2a e 3a, a vazão consegue chegar ao máximo, mas a válvula de controle do envio não está totalmente aberta. Nos casos 2b e 3b foram simulados mais dois regimes permanentes, aumentando a pressão no recebimento pela controladora UV-40, permitindo a válvula de controle, UV-50, trabalhar 100% aberta e mantendo uma vazão de 800 m³/h. As figuras Figura 17 e Figura 18 apresentam os gráficos de gradientes hidráulicos dos casos 2b e 3b respectivamente.

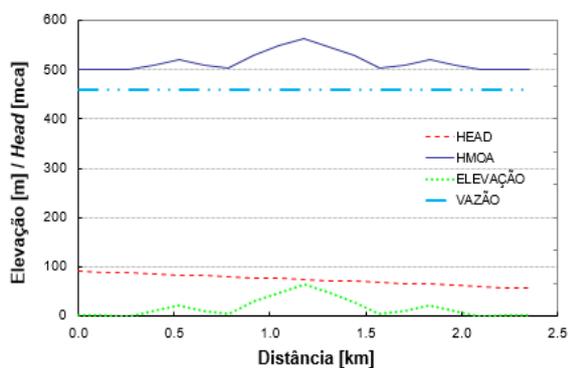


Figura 15. Gradiante hidráulico - Caso 1

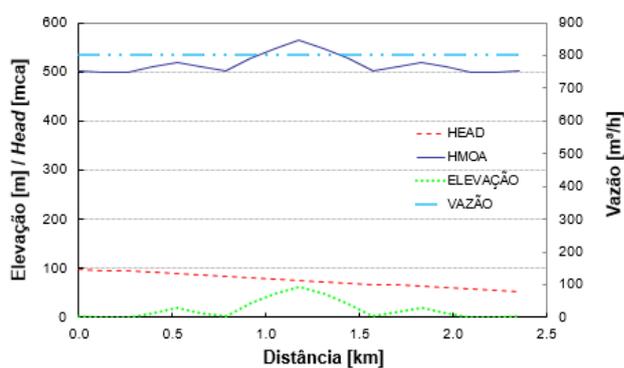


Figura 16. Gradiante hidráulico - Caso 3a

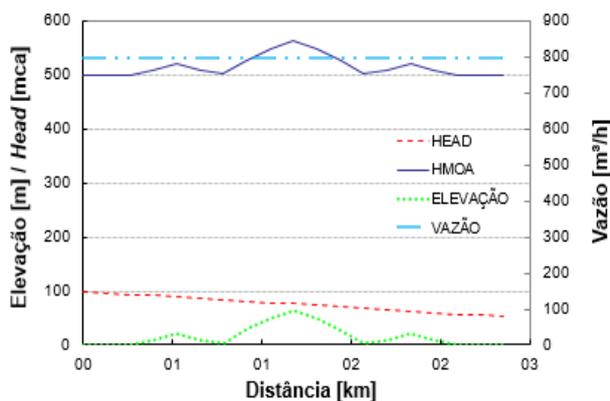


Figura 17. Gradiante hidráulico - Caso 2b

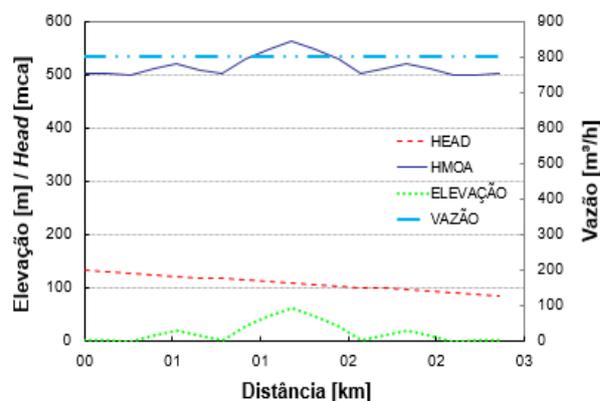


Figura 18. Gradiante hidráulico - Caso 3b

Com o intuito de não haver a abertura da PRV de segurança do Oleoduto de Teste e sabendo que será possível testar válvulas de alívio certificadas ou não, calculou-se a partir da sobrepressão destas válvulas os *setpoints* máximos. A pressão máxima operacional (PMO) no recebimento não deverá ultrapassar 90% do *setpoint*. A Tabela 9 apresenta essas características para as válvulas de alívio certificadas, não certificadas e do próprio Oleoduto de Teste no recebimento.

Tabela 9 - Características Operacionais

	PRV certificada	PRV não certificada	PRV do Oleoduto de Teste
Sobrepressão	10%	Até 25%	21%
<i>Setpoint</i> [kgf/cm ²]	19	17	22
PMO do Oleoduto de Teste no recebimento [kgf/cm ²]	17	15	20

Foram simulados novos regimes permanentes no Oleoduto de Teste, a fim de verificar as máximas pressões no oleoduto para que não haja abertura da PRV que se pretende testar. Nos casos 4, 5 e 6a da Tabela 10 foram encontrados os resultados dos regimes permanentes considerando a PMO no recebimento para válvulas de alívio não certificadas (15 kgf/cm²), junto com a máxima rotação do motor acoplado à bomba principal para gerar a maior vazão possível. O caso 6b apresenta o regime permanente considerando uma pressão de 17 kgf/cm² no recebimento (PMO para testes de válvulas certificadas, conforme a Tabela 9) e com as duas bombas principais em série. Para os outros dois tipos de arranjo, quando a pressão no recebimento atinge essa pressão de 17 kgf/cm² a vazão ao longo do duto é menor do que a permitida em projeto (280 m³/h). As figuras Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22 apresentam os gradientes hidráulicos para os casos: 4, 5, 6a e 6b, respectivamente.

Os dois medidores de vazão ultrassônicos do Oleoduto de Teste são iguais e possuem uma capacidade de medição de 0 a 1000 m³/h, porém estão calibrados para medir apenas entre a faixa de 280 a 800 m³/h (Folha de dados no anexo 9.5). Devido à restrição deste equipamento, a vazão mínima de operação do oleoduto fica limitada a 280 m³/h. A Tabela 10 apresenta os resultados dos regimes permanentes com a vazão mínima do duto. Nos casos 7 e 8, controlou-se a vazão pela válvula de controle de envio, UV-50, e nos últimos três casos (9, 10, e 11), variou-se a rotação do motor acoplado às bombas principais até chegar à vazão desejada.

Tabela 10 - Resultado das simulações para RP no Oleoduto de Teste – Do caso 4 ao 11

Arranjo De Bombas (Todos com duas bombas auxiliares em paralelo)	Caso	Rotação (rpm)	Válvula De Controle UV-50 (Envio)			Válvula De Controle UV-40 (Recebimento)			Vazão [m ³ /h]
			P- [kgf/cm ²]	P+ [kgf/cm ²]	FR [%]	P- [kgf/cm ²]	P+ [kgf/cm ²]	FR [%]	
1 bomba principal (B102A)	4	1800	16,36	15,77	100,0	15,00	1,0	58,0	311
2 bombas principais em paralelo	5	1800	16,71	15,95	100,0	15,00	1,0	60,7	346
2 bombas principais em série	6a	1800	21,05	18,25	100,0	15,00	1,0	77,8	662
	6b	1800	22,25	19,82	100,0	17,00	1,0	74,0	615

Arranjo De Bombas (Todos com duas bombas auxiliares em paralelo)	Caso	Rotação (rpm)	Válvula De Controle UV-50 (Envio)			Válvula De Controle UV-40 (Recebimento)			Vazão [m³/h]
			P- [kgf/cm²]	P+ [kgf/cm²]	FR [%]	P- [kgf/cm²]	P+ [kgf/cm²]	FR [%]	
2 bombas principais em paralelo	7	1800	16,89	7,64	60,7	7,00	1,0	66,2	280
2 bombas principais em série	8	1800	28,19	7,64	50,8	7,00	1,0	66,2	280
1 bomba principal (B102A)	9	1005	8,12	7,63	100,0	7,00	1,0	66,0	280
2 bombas principais em paralelo	10	945	8,13	7,64	100,0	7,00	1,0	66,1	280
2 bombas principais em série	11	774	8,13	7,64	100,0	7,00	1,0	66,2	280

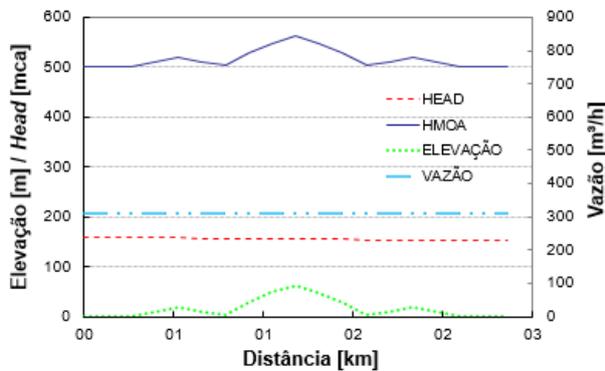


Figura 19. Gradiante hidráulico - Caso 4

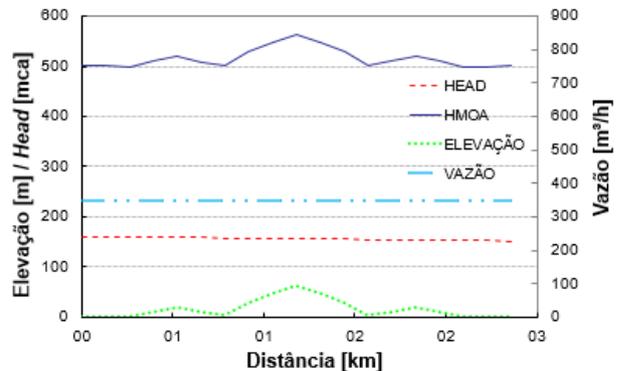


Figura 20. Gradiante hidráulico - Caso 5

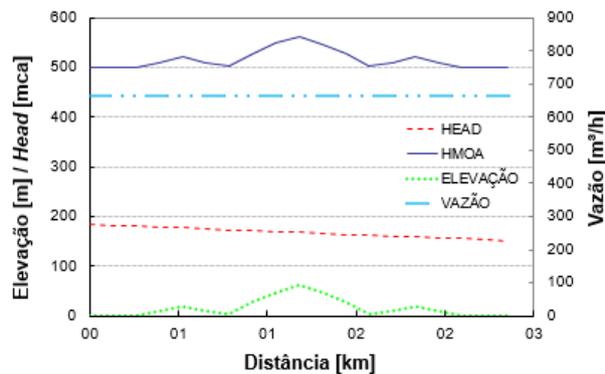


Figura 21. Gradiante hidráulico - Caso 6a

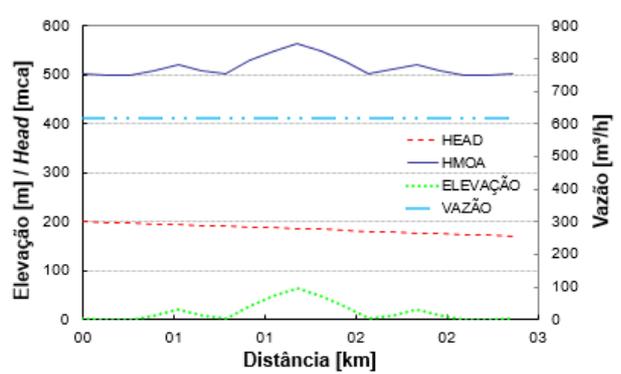


Figura 22. Gradiante hidráulico - Caso 6b

Por meio das Tabelas Tabela 8 e Tabela 10, percebe-se que os regimes permanentes referentes aos arranjos das bombas principais em série possuíam as maiores pressões e vazões ao longo do duto. Por isso, foram gerados os cenários de transientes incidentais do bloqueio da válvula XV-8101-03 em 60s (Folha de dados, anexo 0), localizada a jusante da válvula de alívio

PSV-8101-01A (válvulas apresentadas no fluxograma do modelo, Figura 14), a partir das condições dos seguintes regimes permanentes: caso 3a da Tabela 8 e o 6b da Tabela 10 - Resultado das simulações para RP no Oleoduto de Teste – . A válvula de bloqueio, VES-016, a montante da PSV-8101-01B, foi totalmente fechada antes da simulação do cenário incidental, para uma análise do comportamento dinâmico apenas da PSV-8101-01A. Nas simulações utilizou-se o modelo de válvulas de alívio padrão existente no SPS. As Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26 apresentam os gráficos gerados dos transientes referentes aos casos 3a e 6b.

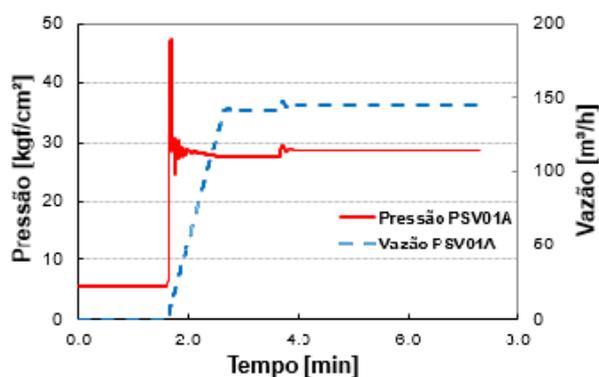


Figura 23. Cenário incidental - Caso 3a (em relação ao tempo)

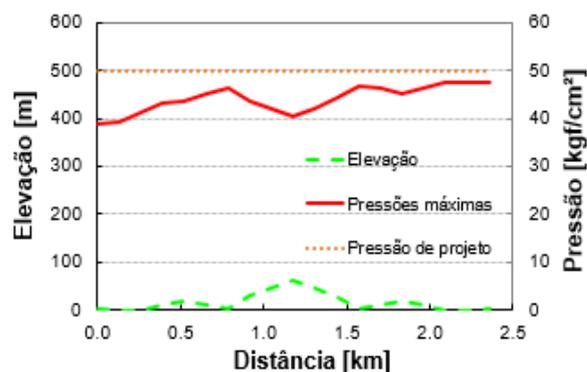


Figura 24. Cenário incidental - Caso 3a (em relação à distância)

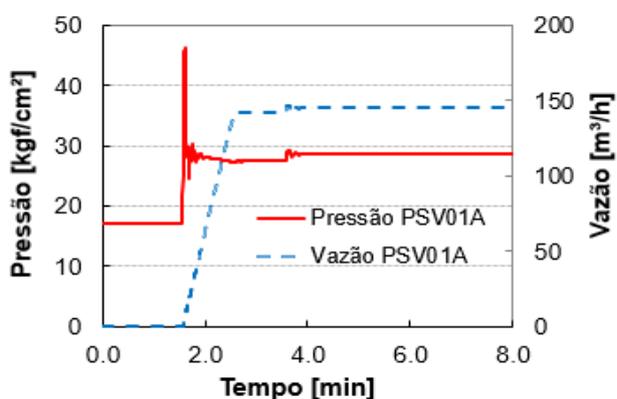


Figura 25. Cenário incidental - Caso 6b (em relação ao tempo)

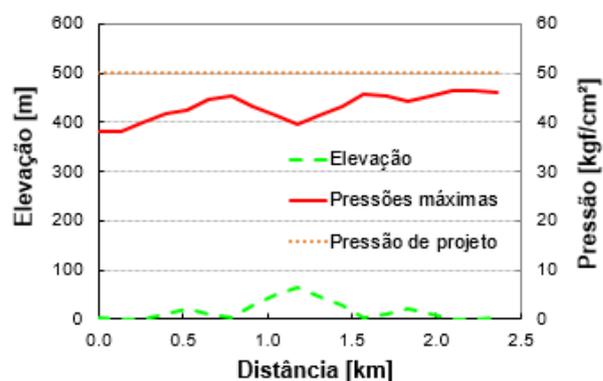


Figura 26. Cenário incidental - Caso 6b (em relação à distância)

O pico de pressão gerado pelo bloqueio da válvula XV-8101-03 não atinge a pressão máxima admissível no projeto (50 kgf/cm^2) em nenhum dos casos, garantindo a integridade estrutural do Oleoduto de Teste. Porém, a PSV-8101-01A se estabiliza com uma sobrepressão de quase 30% da pressão de ajuste, o que não é permitido por norma.

Para que seja garantida uma sobrepressão de no máximo 25%, como recomendado pela API 520 [4], verificou-se que para os mesmos cenários transientes descritos anteriormente é necessário abrir as duas válvulas de alívio do oleoduto (PSV-8101-01A e B). As Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30 mostram os resultados das simulações nessas condições.

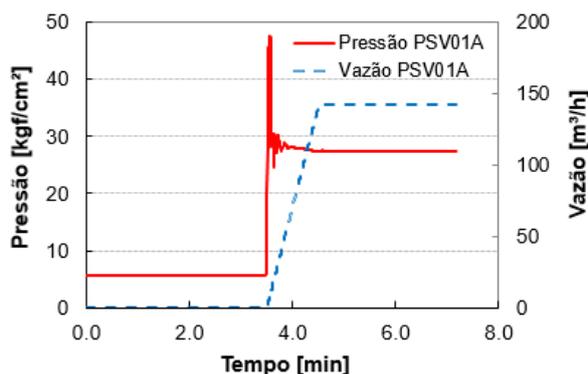


Figura 27. Cenário incidental - Caso 3a (em relação ao tempo, com abertura das duas PRV's)

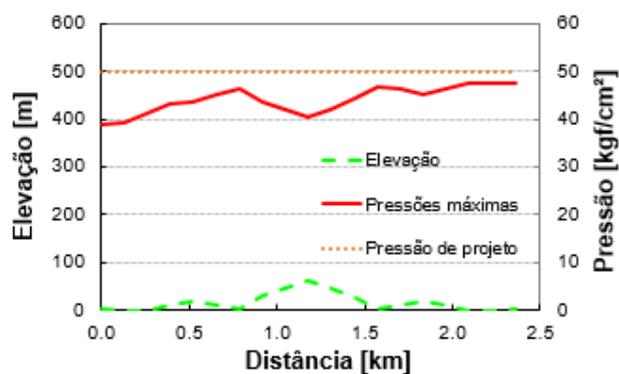


Figura 28. Cenário incidental - Caso 3a (em relação à distância, com abertura das duas PRV's)

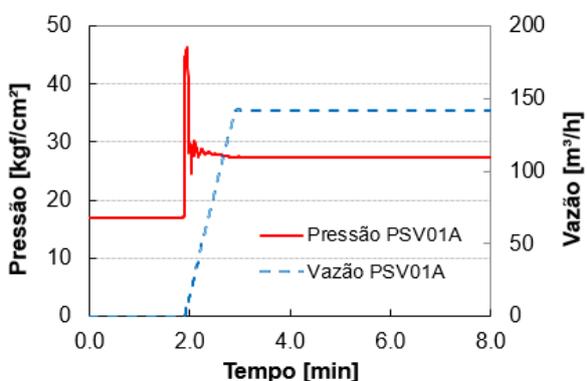


Figura 29. Cenário incidental - Caso 6b (em relação ao tempo, com abertura das duas PRV's)

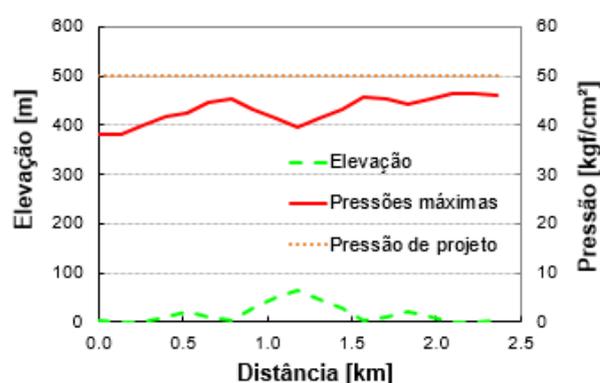


Figura 30. Cenário incidental - Caso 6b (em relação à distância, com abertura das duas PRV's)

5. Procedimento Experimental para Testes de PRV's

Para a descrição do procedimento experimental para testes de PRV's, será tomada como base a bancada em escala laboratorial construída na PUC-Rio por Carneiro e Azevedo (2011) [2] que teve como objetivo a determinação dos procedimentos experimentais para execução dos testes. Essa bancada permitiu também realizar o levantamento das características dinâmicas de uma válvula de alívio comercial e modelar esse comportamento num programa de simulação comercial. Com base nesse trabalho será possível estudar e verificar quais as adaptações serão necessárias para a construção de um sistema de testes destas válvulas em escala real, dentro da instalação do CTDUT no Oleoduto de Teste.

5.1 Descrições da montagem experimental

Na bancada de teste em escala laboratorial (Figura 31 e Figura 32) o fluido de trabalho, água, movimentada por uma bomba com variador de velocidade, escoava num circuito fechado de diâmetro nominal de 2" de aço com uma válvula de bloqueio tipo esfera com tempo de fechamento controlado, para gerar o transiente hidráulico. A válvula de alívio foi instalada a montante da válvula de bloqueio com a linha de alívio retornando o fluido para o mesmo tanque de alimentação.

A instrumentação era composta de transdutores de pressão a montante e a jusante da válvula de alívio, um transdutor linear de deslocamento instalado na haste da válvula de alívio, um medidor de vazão tipo eletromagnético no circuito principal na área de retorno ao tanque e outro medidor tipo turbina na linha de alívio. Os sinais foram registrados num sistema multicanal de alta frequência no qual todos os pontos eram aquisitados simultaneamente. Assim, foi

possível correlacionar a vazão de alívio com o diferencial de pressão na válvula em função da fração de abertura. A seguir, no item 5.2, esses instrumentos serão melhores descritos.

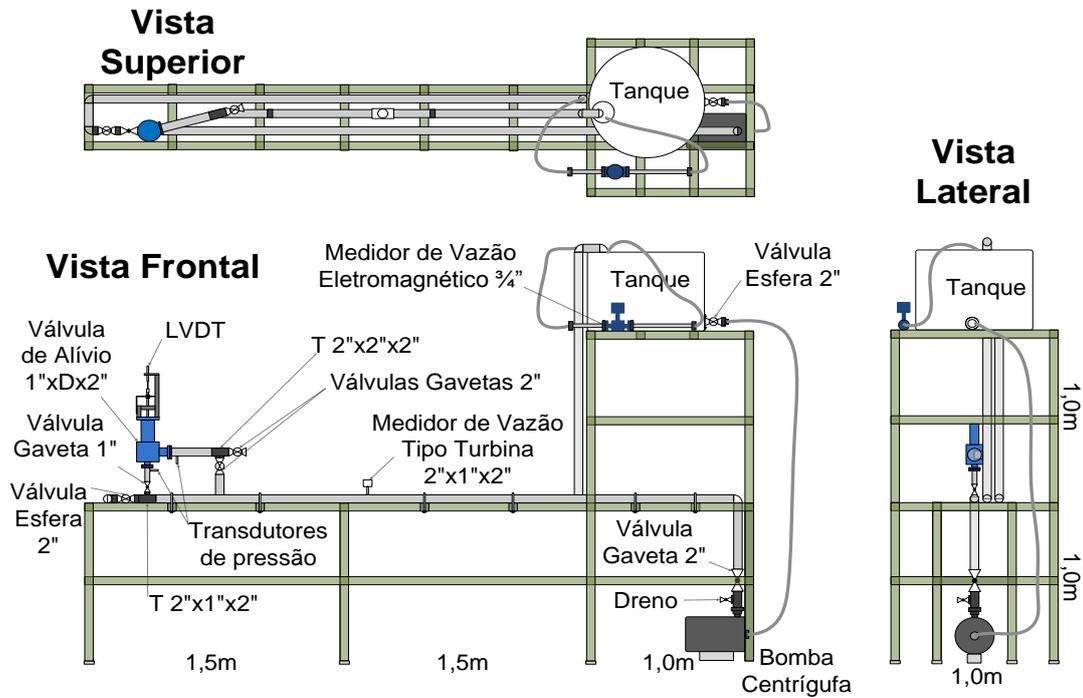


Figura 31. Desenho esquemático da bancada experimental [2]



Figura 32 - Fotografia da bancada experimental e detalhe da PRV instrumentada [2]

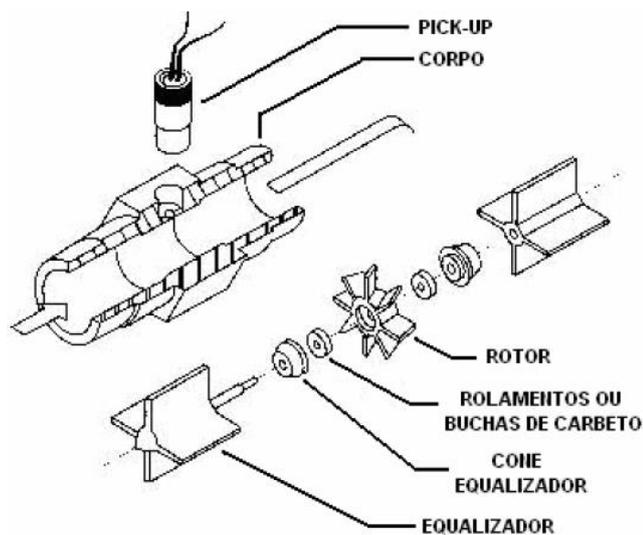
5.2 Características dos instrumentos

5.2.1 Medidores de vazão

Carneiro e Azevedo (2011) ^[2] escolheram utilizar um medidor de vazão eletromagnético para medir a vazão do circuito fechado. Os medidores eletromagnéticos são aplicáveis somente para líquidos, não inserem perda de carga na linha e possuem exatidão notável de $\pm 0,5\%$ da vazão.

Para medir a vazão transiente na descarga das válvulas de alívio é necessário um medidor de vazão para fluidos incompressíveis com um rápido tempo de resposta e alta precisão. Carneiro e Azevedo (2011) ^[2] realizaram uma pesquisa bibliográfica junto a alguns fabricantes de medidores de vazão e concluíram que dentro dos principais medidores disponíveis no mercado, os do tipo turbina possuíam a melhor resposta para medir transientes.

Este equipamento é constituído de equalizadores de fluxo na entrada e na saída e um rotor entre eles com um ímã na ponta de cada pá do rotor. Quando há fluxo através dele, o rotor gira e um sensor, conhecido como *pick-up* ou sensor do tipo rádio frequência, conta os pulsos magnéticos emitidos pela passagem das pás do rotor. A Figura 33 apresenta uma vista explodida do instrumento.



**Figura 33. Vista explodida do medidor de vazão tipo turbina
(Ref.: catálogo da *Contech*)**

Os medidores de vazão necessitam de um trecho reto tanto a montante quanto a jusante na tubulação de processo, para que o escoamento apresente um perfil de velocidade desenvolvido com padrão semelhante àquele utilizado nas condições de calibração do instrumento. O valor típico do trecho reto recomendado é de dez vezes o diâmetro da tubulação a montante e de cinco vezes o diâmetro da tubulação a jusante.

5.2.2 Transdutores de Pressão

Os transdutores de pressão absoluta da bancada experimental estavam localizados a montante e a jusante da válvula de alívio com sensores de precisão de 0,3% e faixa nominal de 10 bar.

5.2.3 Transdutor linear de deslocamento – LVDT

O transdutor linear de deslocamento (LVDT) foi instalado na haste da válvula de alívio do tipo mola com o objetivo de registrar a posição instantânea do disco em relação ao assento,

já que a haste é conectada diretamente ao disco. O LVDT escolhido tinha uma faixa nominal de $\pm 12,5$ mm e sensibilidade de 1,96 mV/V. O range nominal do transdutor de deslocamento selecionado cobriu com folga o deslocamento máximo do disco da válvula testada que era 9,6 mm. Para centralizar o corpo do LVDT à haste da válvula, foi necessário fabricar um suporte e um adaptador em PVC, como mostrado na Figura 34.

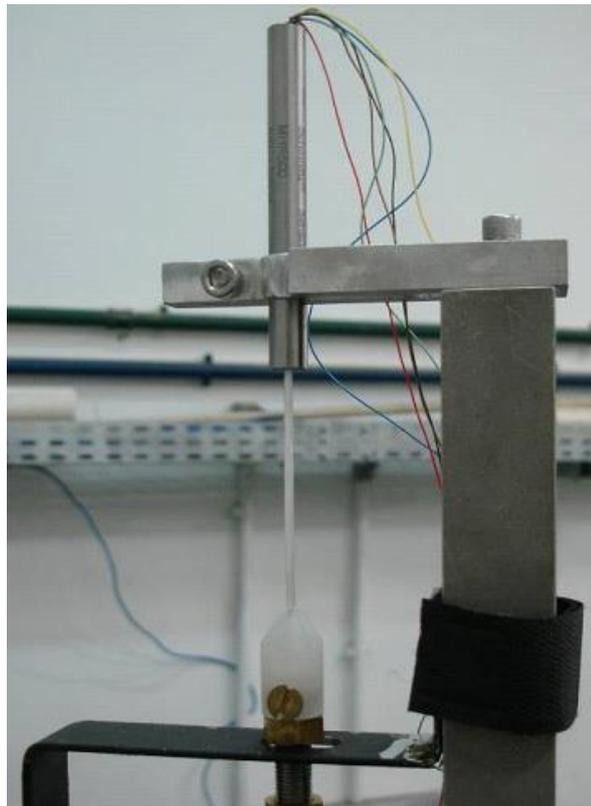


Figura 34. Transdutor linear de deslocamento conectado à haste da válvula de alívio

5.2.4 Transdutor de temperatura

Para o monitoramento da temperatura do fluido de teste (água), no retorno do tanque do circuito, foi instalado um transdutor de temperatura PT100, do mesmo fabricante do transdutor de pressão e do sistema de aquisição de dados, HBM.

5.2.5 Acelerômetro

O acelerômetro, assim como o transdutor de deslocamento, foi instalado na haste da válvula de alívio com um suporte de alumínio, para medir a velocidade com que o disco se movimentava. O tipo escolhido foi o capacitivo uniaxial que possui um corpo hermeticamente selado e mede a aceleração do disco em função do tempo. Esse acelerômetro possuía uma faixa nominal de 10g, sensibilidade de 400 mV/g e resposta em frequência de 0 a 600 Hz podendo corresponder à aceleração ascendente e descendente.

5.2.6 Válvula de bloqueio motorizada

Para realizar o bloqueio do fluxo do circuito e gerar um transiente de pressão necessário para forçar a abertura da válvula de alívio e permitir a medição dos dados relativos às medições temporais das variáveis de interesse, foi instalada uma válvula de bloqueio do tipo esfera a jusante da derivação da válvula de alívio no circuito principal.

6. Adequação da Instalação Existente

Para adequar a instalação existente do Oleoduto de Teste, inicialmente é necessário verificar a faixa de orifícios de válvulas de alívio do tipo mola que poderão ser testadas, o que depende basicamente das condições operacionais do circuito, apresentadas no item 4.2. Para uma faixa de vazão de 280 m³/h até 800 m³/h e uma faixa de pressão de 0 a 50 kgf/cm², verificou-se, pelos catálogos de alguns fabricantes como Crosby e Pentair, que poderão ser testadas as válvulas de alívio de orifício L, M, N, P, Q e R com classes de pressão para a entrada de até #300 e classe de pressão de saída de #150, mas com as seguintes restrições às condições operacionais:

- Pressão máxima operacional no Oleoduto de Teste de 20 kgf/cm², para que não seja aberta a PRV de segurança.
- Para teste de válvulas de alívio certificadas, uma PMO no recebimento de 17 kgf/cm² e para válvulas não certificadas, 15 kgf/cm².
- Dentre as válvulas de alívio de orifício L, apenas as certificadas poderão ser testadas no Oleoduto de Teste. Apenas com um diferencial de pressão acima de 16 bar, a válvula de alívio de orifício L apresenta a vazão mínima para operação no oleoduto. Como mostrado na Figura 35.

Water Capacities Styles JLT-JOS and JLT-JBS

Capacity in liters per minute of water at 21C and 10% overpressure.

Differential Pressures ΔP^*
1-80 bar[†]

METRIC UNITS

Capacities certified by the National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors and in accordance with the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII.

Diff. * Pressure ΔP (bar)	ORIFICE LETTER DESIGNATION AND EFFECTIVE AREA, sq. mm.														Diff. * Pressure ΔP (kPa)
	D 71.0	E 126	F 198	G 325	H 506	J 830	K 1186	L 1841	M 2323	N 2800	P 4116	Q 7129	R 10323	T 16774	
1	44.6	79.5	124	204	318	522	745	1157	1460	1760	2588	4482	6490	10547	100
2	63.1	112	176	288	450	738	1054	1636	2065	2489	3660	6339	9179	14916	200
3	77.2	137	215	353	551	904	1291	2004	2529	3049	4482	7764	11242	18268	300
4	89.2	159	249	408	636	1044	1491	2314	2920	3521	5176	8965	12981	21094	400
5	99.7	177	278	456	712	1167	1667	2587	3265	3936	5787	10023	14513	23584	500
6	109	194	305	499	780	1278	1826	2834	3577	4312	6339	10980	15898	25835	600
7	118	210	329	539	842	1381	1972	3062	3863	4658	6847	11859	17172	27905	700
8	126	224	352	577	900	1476	2108	3273	4130	4979	7320	12678	18358	29832	800
9	133	238	373	612	955	1566	2236	3472	4381	5281	7764	13447	19471	31641	900
10	141	251	393	645	1007	1651	2357	3659	4618	5567	8184	14175	20525	33353	1000
11	147	263	413	676	1056	1731	2472	3838	4843	5839	8583	14867	21527	34981	1100
12	154	275	431	706	1103	1808	2582	4009	5058	6098	8965	15528	22484	36536	1200
13	160	286	449	735	1148	1882	2688	4172	5265	6347	9331	16162	23402	38028	1300
14	166	297	465	763	1191	1953	2789	4330	5464	6587	9683	16772	24285	39464	1400
15	172	307	482	790	1233	2022	2887	4482	5656	6818	10023	17361	25138	40849	1500
16	178	318	498	816	1273	2088	2982	4629	5841	7042	10352	17930	25962	42189	1600
17	183	327	513	841	1312	2152	3074	4771	6021	7259	10671	18482	26761	43487	1700
18	189	337	528	865	1351	2215	3163	4910	6195	7469	10980	19018	27537	44748	1800
19	194	346	542	889	1388	2275	3250	5044	6365	7674	11281	19539	28292	45974	1900
20	199	355	556	912	1424	2334	3334	5175	6531	7873	11574	20046	29027	47169	2000

Figura 35. Catálogo da fabricante Crosby de válvulas de alívio de mola

Pela American Petroleum Institute, API 526 (2009) ^[11], os flanges de entrada dessas válvulas de alívio têm diâmetros de 3”, 4” e 6” e os flanges acoplados na saída possuem diâmetros de 4”, 6” e 8”. De acordo com o orifício e a classe de pressão, as válvulas possuem dimensões diferentes. Essas variações foram acopladas ao projeto, considerando a possibilidade de realizar mais de uma montagem de forma simultânea. A Tabela 11, apresenta as características das válvulas de alívio selecionadas. (Dados retirados da API 526, 2009 ^[11])

Tabela 11 - Características das válvulas de alívio selecionadas ^[11]

DIMENSÃO DAS VÁLVULAS (Diâmetro de entrada em polegada + orifício + diâmetro de saída em polegada)	ÁREA DO ORIFÍCIO (pol. ²)	MATERIAL	CLASSE DE PRESSÃO		DIMENSÃO DO CENTRO-A-FACE (pol.)	
			Diâmetro do flange de entrada	Diâmetro do flange de saída	Flange de entrada	Flange de saída
3L4	2,853	Aço carbono	150	150	6 1/8	6 1/2
3L4			300	150	6 1/8	6 1/2
4L6			300	150	7 1/16	7 1/8
4M6	3,600		150	150	7	7 1/4
4M6			300	150	7	7 1/4
4M6			300	150	7	7 1/4
4N6	4,340		150	150	7 3/4	8 1/4
4N6			300	150	7 3/4	8 1/4
4N6			300	150	7 3/4	8 1/4
4P6	6,380		150	150	7 1/8	9
4P6			300	150	7 1/8	9
4P6			300	150	8 7/8	10
6Q8	11,05		150	150	9 7/16	9 1/2
6Q8			300	150	9 7/16	9 1/2
6Q8			300	150	9 7/16	9 1/2
6R8	16,000		150	150	10 7/8	11
6R8			300	150	10 7/8	11

O Oleoduto de Teste foi concebido para possibilitar grande flexibilidade de alinhamentos. Dessa forma, o próprio sentido de circulação do fluido pode ser invertido, de forma que os *scrapers* podem ser considerados tanto de recebimento como de lançamento. Assim, a escolha do local da montagem foi balizada pela disponibilidade de área física e pela facilidade em realizar as intervenções necessárias na tubulação. A solução foi desenhada no CAD *SolidWorks* e está apresentada na Figura 36. Nesta figura, a tubulação em verde refere-se à bancada de teste a ser construída no galpão dos *scrapers* e as válvulas de alívio que poderão ser testadas estão em azul. Uma parte da tubulação já existente do galpão dos *scrapers* está em cinza para uma maior contextualização de onde a bancada ficará.



Figura 36. Projeto do sistema de testes de PRV's montado na área dos scrapers no Oleoduto de Teste (SolidWorks,2013)

A tubulação é quase toda flangeada para facilitar a montagem e desmontagem. As dimensões das conexões e acessórios, como os tes de redução e as curvas de 90°, foram escolhidos de acordo com a norma ASME-B16.9 ^[12] e as dimensões de todos os flanges, de acordo com a norma ASME-B16.5 ^[13].

Para cada válvula de alívio a ser testada foi instalada uma válvula de bloqueio do tipo gaveta a montante e a jusante. Foi escolhida o tipo gaveta por serem válvulas de passagem plena, além de serem mais baratas. Válvulas que proporcionam alta perda de carga, como as do tipo globo, por exemplo, não são recomendadas ^[3].

A montante das PRV's a classe de pressão é 300# e a jusante é 150#, porém toda tubulação é SCH 40, assim como a tubulação já existente no Oleoduto de Teste. As seguintes intervenções deverão ser feitas na instalação já existente:

O sistema de medição de vazão de alívio deve ser selecionado com grande cuidado. Isso porque o que se pretende medir é a variação da vazão e os sensores são projetados para medir vazão em regime permanente. Assim, o sensor escolhido e sua eletrônica associada deverá ter um tempo de resposta extremamente baixo, compatível com os transientes que serão analisados. Outro problema em relação a esses medidores é a definição da faixa calibrada. O objetivo é medir a vazão de alívio que vai de zero (quando a válvula estiver fechada) até o valor de vazão de projeto da válvula. Para a bancada experimental, em escala laboratorial, foi selecionado um sensor tipo turbina com uma frequência para o final da faixa de 168 Hz. Esse sensor ainda não foi definido para a montagem no Oleoduto de Teste, mas sua localização será na linha de alívio horizontal (peça 03 das Figura 37e Figura 38).

6.2 Estimativas de Custos

A equipe do CTDUT elaborou uma estimativa de custo para implementação da bancada de testes transientes de válvulas de alívio no Oleoduto de Teste. O custo total estimado foi apresentado discriminadamente na Tabela 12.

Tabela 12 - Estimativa de custos para construção da Bancada de Teste

Pessoal	2 engenheiros	R\$ 12.800,00
	3 técnicos	R\$ 16.576,00
	Operacional	R\$ 1.600,00
	Admirativo	R\$ 480,00
	Total	R\$ 31.546,00
Material e equipamentos	Curvas, flanges e tubos de 3", 4", 6" e 8", e válvulas gaveta	R\$ 61.522,00
	Juntas de vedação + estojos	R\$ 4.100,00
	Equipamento de monitoramento	R\$ 10.068,00
	Instrumentação	R\$ 40.000,00
	Total	R\$ 115.690,00
Serviços de terceiros	Montagem dos carretéis, jateamento e pintura, soldagem, inspeções de qualidade e data book	R\$ 26.000,00
	Montagem da Bancada de Teste	R\$ 24.000,00
	Total	R\$ 50.000,00
Custo total		R\$ 197.146,00
Administração	Percentual administrativo de 12%	R\$ 23.657,52
Receita líquida		R\$ 220.803,00
Impostos	COFINS (3%)	R\$ 6624,09
Valor total do serviço		R\$ 227.427,10

Tomando por base o teste de bancada realizado por Carneiro e Azevedo (2011) ^[2], estimou-se que cada válvula poderia ser testada separadamente em uma semana. Porém, o custo operacional dependerá de outros fatores como a quantidade e o tamanho das válvulas de alívio que serão testadas.

7. Conclusões

As válvulas de alívio de mola são utilizadas como elementos de segurança em dutos em casos de transientes hidráulicos que gerem elevação de pressão acima do limite pré-estabelecido no projeto. Porém, essas válvulas não são testadas e certificadas nessas condições transientes. Além disso, a modelagem computacional dessas válvulas necessita de um grau de informação não disponível atualmente e de uma modelagem própria. Assim, a montagem experimental projetada para ser instalada no Oleoduto de Teste do CTDUT poderá realizar os ensaios transientes de válvulas de alívio, possibilitando um maior conhecimento das características dinâmicas das válvulas de alívio de mola.

Analisando as características operacionais do Oleoduto de Teste após a modelagem termo-hidráulica computacional do circuito, verificou-se que para testar válvulas não certificadas que possuem no máximo 25% de sobrepressão, a pressão máxima operacional no recebimento do oleoduto é de 15 kgf/cm², podendo ser testadas válvulas de alívio com pressões de ajuste de no máximo 17 kgf/cm². Contudo, válvulas certificadas pela ASME Seção VIII ^[3], possuem sobrepressões de 10% da pressão de ajuste, aumentando a PMO no recebimento para 17 kgf/cm² e conseqüentemente, podendo testar uma faixa maior de válvulas de alívio com um diferencial de pressão de no máximo 19 kgf/cm². Devido à limitação do instrumento de medição de vazão do Oleoduto de Teste, a vazão mínima de operação é 280 m³/h e a vazão máxima de 800 m³/h.

Desta maneira, a montagem experimental projetada para ser instalada no Oleoduto de Teste do CTDUT poderá realizar o ensaio transiente de válvulas de alívio com orifícios L, M, N, P, Q e R, com classes de pressão na entrada de até #300 e classe de pressão na saída de #150. As

válvulas de orifício L só poderão ser testadas com sobrepressões de no máximo 10% da pressão de ajuste enquanto que as de orifício M, N, P, Q e R poderão ter sobrepressões de até 25%.

A bancada experimental foi projetada para se estabelecer no galpão dos scrapers. A adequação à instalação existente do Oleoduto de Teste consistiu na retirada da válvula esfera VES-11 junto com os flanges e, a adição de um tee comum de 8” na descarga de alívio do próprio oleoduto. O custo total previsto para a instalação foi de R\$ 227.427,10.

O estudo das características operacionais do Oleoduto de Teste constatou que, mesmo sem a atuação das válvulas de alívio de segurança do próprio oleoduto, as pressões máximas nos transientes gerados não ultrapassam a pressão de projeto de 50 kgf/cm², garantindo a integridade estrutural. Assim, propõem-se um estudo mais detalhado deste cenário visando à possibilidade de fechamento das válvulas de alívio de segurança do Oleoduto de Teste para testar uma faixa maior de PRV's.

O projeto provou a viabilidade de adequação de uma instalação existente em um sistema de testes e certificação de válvulas de alívio e a faixa de válvulas que poderão ser testadas. A concretização do trabalho proposto permitirá testes em escala real de válvulas de alívio do tamanho das utilizadas em terminais marítimos, e o conhecimento do comportamento dinâmico dessas válvulas, permitindo o desenvolvimento de modelos computacionais mais confiáveis e aumentando a segurança das instalações existentes.

8. Bibliografia

- [1] Petrobras Transporte S.A. – Transpetro.
Endereço <http://www.transpetro.com.br/pt_br/quem-somos/numeros.html>
Acessado em: 01/06/2014.
- [2] Carneiro, L.M., Azevedo, L.F.A. - Estudo do Comportamento Dinâmico de Válvula de Mola para Alívio de Pressão em Dutos. Rio de Janeiro, 2011. 187p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [3] ASME, Seção VIII – Divisão 1 e 2, Boiler and Pressure Vessel Code. American Society of Mechanical Engineers, 2009 edition.
- [4] *API STANDARD 520, Sizing, Selection and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries*. 2008 edition. American Petroleum Institute.
- [5] Kendoush, A.A.; Sarkis, Z.A.; Al-Muhammedawi, H.B.M. *Thermohydraulic effects of safety relief valves*. Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 19, 1999, p.131-139.
- [6] Petherick P. M.; Birk A. M. *State-of-the-Art Review of Pressure Relief Valve Design, Testing and Modeling*. Journal of Pressure Vessel Technology, vol. 113, 1991, p. 46.
- [7] FRANCIS, J.; BETTS, P.L. Backpressure in a High-Lift Compensated Pressure Relief Valve subject to single phase compressible flow. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 11, 1998, p. 55-66.
- [8] . Azevedo, L.F.A., Ortega, A.J.; Azevedo, B.N.; Pires, L.F.G.; Nieckele, A.O.– *A Numeral Model About the Dynamic Behavior of a Pressure Relief Valve*, Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências, COB09-2155, 2008.

- [9] API STANDARD 526, Flanged Steel Pressure-relief Valves. 2009 edition. American Petroleum Institute
- [10] Maiti, R., Saha, R.; Watton, J. – *The static and dynamic characteristics of a pressure relief valve with a proportional solenoid-controlled pilot stage*, Proc Instn Mech Engrs, Vol. 216, Part I, pp 143-156. 2002
- [11] Stoner Pipeline Simulator 9.6, Help and Reference, Advantica, Inc., 2007.
- [12] ASME B16.6 Pipe Flanges and Flanged Fittings. American Society of Mechanical Engineer, 2013 edition.
- [13] ASME B16.9 – *Factory-Made Wrought Buttwelding Fittings*. American Society of Mechanical Engineer, 2013 edition.

9. Anexos

9.1 Folha de Dados das bombas auxiliares

	FOLHA DE DADOS	Nº FD-8101.01-8410-311-GPG-001	REV. 0
	PROGRAMA/OU PROJETO CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS - CTDUT		FOLHA 3 de 3
	TÍTULO B-101 A/B – BOMBAS AUXILIARES		

Hydraulic Datasheet		
Customer :	Pump / Stages : / 1	
Customer reference :	Based on curve no. :	
Item number : B-101 Booster	Vendor reference :	
Service : CTDUT	Date : April 10, 2006	
Operating Conditions		
Capacity : 300.0 m3/h	Material column code : S-6	
Water Capacity (CQ=0.95) : 314.4 m3/h	Pump specification :	
Normal capacity : -	Other Requirements	
Total Developed Head : 31.00 m	Hydraulic selection : No specification	
Water head (CH=0.93) : 33.40 m	Construction : No specification	
NPSH available (NPSHa) : 2.8 m	Test tolerance : API-610 8th Edition	
NPSHa less NPSH margin : -	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
Maximum suction pressure : 1.1 kg/cm²g	Performance data based on standard impeller	
Liquid		Seal configuration : Single Seal
Liquid type : Hydrocarbon		
Temperature / SG : 30 °C / 0.928		
Solids diameter : -		
Viscosity / Vapor pressure : 290.0 cSt / 0.80 kg/cm²a		
Performance		
Hydraulic power : 23.5 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 1160 rpm	Rated : 427.0 mm	
Efficiency (CE=0.64) : 51.3 %	Maximum : 470.0 mm	
	Minimum : 343.0 mm	
NPSH required (NPSHr) : 2.3 m	Suction specific speed : 9280 US units	
Rated power : 45.7 kW	Minimum continuous flow : 70.6 m3/h	
Maximum power : 47.9 kW	Maximum head @ rated dia : 41.6 m	
Driver power : 55.0 kW / 73.8 hp	Flow at BEP : 294.4 m3/h	
Casing working pressure : 5.0 kg/cm²g	Flow as % of BEP : 101.9 %	
(based on shut off @ cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 42.2 kg/cm²g	Impeller dia ratio (rated/max) : 90.9 %	
Hydrostatic test pressure : 63.3 kg/cm²g	Head rise to shut off : 34.3 %	
Est. rated seal chamb. press. : 1.27 kg/cm²g	Total head ratio (rated/max) : 77.3 %	

CURVES ARE APPROXIMATE. PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS, CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY

9.3 Folha de Dados das Válvulas de Alívio PSV-8010-01A/B

	FOLHA DE DADOS		Nº		FD- 8101.01- 8410-GPG-001		Rev.	A		
	CLIENTE OU USUÁRIO				CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS - CTDUT		FOLHA			
	TÍTULO				VÁLVULAS DE ALÍVIO E SEGURANÇA		2 de 9			
01	IDENTIFICAÇÃO		PSV-8101-01A		PSV-8101-01B					
02	SERVIÇO		ALÍVIO DO DUTO		ALÍVIO DO DUTO					
03	LINHA / EQUIPAMENTO		SAÍDA DO LRP 1		SAÍDA DO LRP 2					
04	BOCAL TOTAL	REDUZIDO	SIM		SIM					
05	TIPO SEGURANÇA / ALÍVIO		ALÍVIO		ALÍVIO					
06	CONV., BALANCEADA, PILOTO OPERADA		CONVENCIONAL		CONVENCIONAL					
07	CASTELO ABERTO / FECHADO		FECHADO		FECHADO					
CONEXÕES	08	TAMANHO E TIPO - ENTRADA		2 ½" 300# - FR		2 ½" 300# - FR				
	09	TAMANHO E TIPO - SAÍDA		4" - 150# - FR		4" - 150# - FR				
	10	QUANTIDADE		01		01				
MATERIAIS	11	CORPO	CASTELO	A CARBONO	A CARBONO	A CARBONO	A CARBONO			
	12	SEDE	DISCO	A INOX	A INOX	A INOX	A INOX			
	13	GUIAS	ANÉIS	A INOX	A INOX	A INOX	A INOX			
	14	MOLA		BICROMATIZADA		BICROMATIZADA				
	15	FOLE		-		-				
	16	HASTE		AISI 410		AISI 410				
OPÇÕES	17	TAMPA ROSCADA / APARAFUSADA		ROSCADA		ROSCADA				
	18	ALAVANCA EXPOSTA / ENCAPSULADA		-		-				
	19	TRAVA P/ TESTE HIDROSTÁSTICO		NÃO		NÃO				
	20									
	21									
BASE	22	CÓDIGO		API 520		API 520				
	23	CRITÉRIO DE DIMENSIONAMENTO		FOGO EXTERNO		FOGO EXTERNO				
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	24	FLUÍDO E ESTADO FÍSICO		DIESEL	VAPOR	DIESEL	VAPOR			
	25	CAPAC. LÍQUIDO	CAP. VAPOR GÁS		22260		22260			
	26	DENS.TEMP.ALÍVIO	PESO MOLECULAR		114	-	114			
	27	VISCOSIDADE A. TEMP. ALÍVIO (cst)		6		6				
	28	PRESS. NORMAL	AJUSTE	8,5	22	8,5	22			
	29	TEMP.NORM	ALÍVIO	PROJETO	25	100	100	25	100	100
	30			CONSTANTE		-				
	31	CONTRA-PRESSÃO		DESENVOLVIDA		-				
	32			SUPERIMPOSTA		-				
	33	PONTO DE AJUSTE DA MOLA		22		22				
34	SOBREPRESSÃO % (ASME)		21		21					
35	FATOR DE COMPRESSIBILIDADE		1		1					
36	Cp / Cv		1,4		1,4					
37	ORIFÍCIO	SELECIONADO	0,8926 in ²	1,287 in ²	0,8926 in ²	1,287 in ²				
38	DESIG. ORIFÍCIO	CÓDIGO MOLA	J		J					
39	FABRICANTE DE REFERÊNCIA									
40	MODELO DE REFERÊNCIA									
41	UNIDADES: PRESSÃO (Kgf/cm ²)		TEMPERATURA (° C)		VAZÃO (Kg/h)					
NOTAS: VER FOLHA 09										

9.4 Folha de Dados das Válvulas de Controle

		FOLHA DE DADOS		Nº FD-8101.01-8410-831-GPG-001				
		Cliente			Folha			
		CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS - CTDUT			2 de 8			
VÁLVULA DE CONTROLE								
Rev.								
Identificação		LV-40						
Serviço		CAUDA DO DUTO						
Linha NP		12"HC-8101,01-027-Ca						
Corpo e Internos	Tipo		GLOBO					
	Material do Corpo		ASTM A 318 WCB					
	Tamanho Corpo	Sede	10"	PI FAB				
	Condições, Classe de Pressão		FLANGE -300# - FR					
	Tipo de Castelo		PADRÃO					
	Material das Gaxetas		TEFLON					
	Lubrificador	Válvula de Isolam.	NÃO	NÃO				
	Nº de Sedes	Tipo de Guia	1	GAIOLA				
	Características		LINEAR					
	Classe de Vazamento		ANSI CLASSE IV					
Material Obturador/Sede		AISI 316						
Vazão tende a		FECHAR						
Atuador	Tipo		ELÉTRICO					
	Modelo e Tamanho		PI FAB.					
	Fecha com	Abre com	4 mA	20 mA				
	Ação na falha		TRAVA					
Volante e Posição		-						
Posição	Modelo		ELETTRÔNICO					
	Entrada	Saída	4-20 mA	PI FAB				
	Contorno	Manômetros	-	-				
Alimentação		440 VCA, 60Hz, 3Ø						
Acess.	Filtro regulador cf manômetro		-					
	Válvula solenóide 3 vias		-					
Condições de Operação	Fluido e estado físico		ÁGUA		ÓLEO CRU		ÓLEO DIESEL	
	Vazão Normal	Máxima / Mínima	738 / 290	587 / 140	843 / 142			
	Press. Entr. Vaz. Norm.	Máxima / Mínima	5 / 18,9	4,2 / 17,8	4,1 / 17,4			
	Press. Saí. Vaz. Norm.	Máxima / Mínima	1,5 / 1,5	1,4 / 1,4	1,25 / 1,25			
	A.P. Máximo	Nível de Ruído (dB)	20 / 82	20 / 82	20 / 82			
	Temp. Normal	Máxima ou Mínima	25 / 25	25 / 25	25 / 25			
	Dens. Cond. Oper.	Viscosidade (cst)	1000 / 1	928 / 170	832 / 8			
	Peso Mol.	K / Z	- / - / -	- / - / -	- / - / -			
	P Crítica (aba)	P Vapor (aba)	225 / 0,043	225 / 0,7	225 / 0,08			
	Cv Min.	Cv Máximo	81 / 481	42 / 404	38 / 407			
Cv Requerido								
Válvula: Cv		PI						
Fabricante de referência								
Modelo Referência								
Unidades: Pressão: Kgf/cm² (man)		Temperatura: °C		Vazão: m³/h(lq); Kg/h(gas)				
Notas:								
1 - DADOS DE PROCESSO INFORMADOS PARA OS FLUIDOS DE OPERAÇÃO DO DUTO. A VÁLVULA DEVERÁ SER DIMENSIONADA CONSIDERANDO OS TRÊS CASOS.								



FOLHA DE DADOS

Nº **FD-8101.01-8410-831-GPG-001**

Cliente **CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS - CTDUT** Folha **3 de 8**

VÁLVULA DE CONTROLE

Rev:										
Identificação			UV-50							
Serviço			CABEÇA DO DUTO							
Linha Nº			127-10-8101.01-003-Ca							
Corpo e Internos	Tipo		GLOBO							
	Material do Corpo		ASTM A 216 WCB							
	Tamanho Corpo	Sede	8"			PI FAB.				
	Conexões, Classe de Pressão		FLANGE -300# - FR							
	Tipo de Castelo		PADRÃO							
	Material das Garças		TEFLON							
	Lubrificador	Velvula de Isolem.	NÃO			NÃO				
	Nº de Sedes	Tipo de Guias	1			GAIOLA				
	Característica		LINEAR							
	Classe de Vazamento		ANSI CLASSE IV							
Material Obturador/Sede		AISI 316								
Vazão tende a		FECHAR								
Atuador	Tipo		ELÉTRICO							
	Modelo e Tamanho		PI FAB.							
	Fecha com	Abre com	4 mA			20 mA				
	Ação na falha		TRAVA							
	Volante e Posição		-							
Posição	Modelo		ELETTRÔNICO							
	Entrada	Saida	4-20 mA			PI FAB.				
	Contorno	Manômetros	-			-				
Acess.	Alimentação		440 VCA, 60Hz, 3Ø							
	Filtro regulador c/ manômetro		-							
Válvula solenóide 3 vias		-								
Condições Operação	Fluido e estado físico		ÁGUA		ÓLEO CRU			ÓLEO DIESEL		
	Vazão Normal	Máxima	Mínima	738	290	400	843	142	142	
	Press. Entr. Vaz. Norm.	Máxima	Mínima	5	18,9	9,2	4,1	17,4	17,4	
	Press. Sai. Vaz. Norm.	Máxima	Mínima	1,5	1,5	7,34	1,25	1,25	1,25	
	A.P. Máximo	Nível de Ruído (dB)		20	82	20	82	20	82	
	Temp. Normal	Máxima ou Mínima		25	25	25	25	25	25	
	Dens. Cond. Oper.	Viscosidade (cst)		1000	1	628	170	832	8	
	Peso Mol.	K	Z	-	-	-	-	-	-	
	P Crítica (aba)	P Vapor (aba)		225	0,043	225	0,7	225	0,08	
	Cv Min.	Cv Máximo		81	481	357	38	407	407	
Cv Requerido										
Válvula	Cv	PI								
Fabricante de referência										
Modelo Referência										
Unidades:	Pressão:	Kg/cm² (man)	Temperatura:	°C	Vazão:	m³/h(lq); Kg/h(gas)				
Notas:										

9.5 Folha de Dados dos medidores de vazão

		FOLHA DE DADOS		FD-8101.01-8410-813-GPG-002	REV. E	
		CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS - CTDUT			FOLHA	2 de 3
		MEDIDOR DE VAZÃO ULTRA-SÔNICO				
1	IDENTIFICAÇÃO	FE – 8101 - 20	FE – 8101 - 30			
2	SERVIÇO	ENTRADA/SAÍDA LRP1	ENTRADA/SAÍDA LRP2			
3	LINHA	12"HC-8101.01-001-Ca	12"HC-8101.01-007-Ca			
CORPO	4	TIPO	CARRETEL	CARRETEL		
	5	DIÂMETRO NOMINAL	12"	12"		
	6	CONEXÕES E CLASSE DE PRESSÃO	ANSI B 16.5 300# FR	ANSI B 16.5 300# FR		
	7	ACABAMENTO FACE FLANGES	RANHURAS CONC.	RANHURAS CONC.		
	8	MATERIAL DO TUBO DE MEDIÇÃO	AÇO INOX 304	AÇO INOX 304		
	9	DIÂMETRO INTERNO DO MEDIDOR	P/FABRICANTE	P/FABRICANTE		
	10	MATERIAL DOS FLANGES	ASTM A 105	ASTM A 105		
	11	LIMITES DE TEMPERATURA	PADRÃO	PADRÃO		
	12	CAPACIDADE DE VAZÃO	P/FABRICANTE	P/FABRICANTE		
	15	QUANTIDADE	01	01		
SENSORES	16	TIPO	4 FEIXES	4 FEIXES		
	17	MONTAGEM	INTRUSIVA	INTRUSIVA		
	18	MATERIAL	AÇO INOX	AÇO INOX		
	19	FEIXE	DUPLO	DUPLO		
	20	CABO	PADRÃO	PADRÃO		
TRANSMISSOR	21	MONTAGEM	INTEGRAL	INTEGRAL		
	22	CLASSIFICAÇÃO ELÉTRICA IEC	ZONA 2, IIA T3	ZONA 2, IIA T3		
	23	INVÓLUCRO	IP 65	IP 67 NEMA 6		
	24	SINAL DE SAÍDA ANALÓGICO	4 – 20 mA _{Acc} + HART	4 – 20 mA _{Acc} + HART		
	25	ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA	24 Vcc	24 Vcc		
	26	CONEXÃO ELÉTRICA	2 X ½" NPT	2 X ½" NPT		
	27	ISOLADOR DE SINAL	SIM	SIM		
	28	INDICADOR LOCAL	SIM - DIGITAL	SIM - DIGITAL		
	29	FAIXA CALIBRADA VAZÃO (4-20mA _{Acc})	0-1000 m ³ /h	0-1000 m ³ /h		
	30	SINAL DE SAÍDA -CONTATO LIVRE DE TENSÃO				
31	PRECISÃO/REPETIBILIDADE	0,55%/0,2 %VL MEDIDO	0,55%/0,2 %VL MEDIDO			
COND. DE OPERAÇÃO	32	FLUIDO	ÓLEO/ÓLEO DIESEL/ÁGUA	ÓLEO/ÓLEO DIESEL/ÁGUA		
	33	ESTADO FÍSICO	LIQUIDO	LIQUIDO		
	34	SENTIDO DE FLUXO	DUPLO	DUPLO		
	35	VAZÃO MIN./NORMAL/MÁXIMA	280 / 800m ³ /h	280 / 800 m ³ /h		
	36	TEMP. DE OPERAÇÃO MIN./NORMAL/MAX.	25 °C	25 °C		
	37	VISCOSIDADE	1 - 170 cSt	1 - 170 cSt		
	38	DENSIDADE	0,832-1,04	0,832-1,04		
	39	PRESSÃO MÁXIMA	22 Kg/cm ² g	22 Kg/cm ² g		
40	FABRICANTE DE REFERÊNCIA					
41	MODELO DE REFERÊNCIA					
42	UNIDADES: PRESSÃO (INDICADO)	TEMPERATURA (INDICADO) VAZÃO(INDICADO)			

9.6 Folha de Dados da válvula esfera motorizada XV-8101-03

		FOLHA DE DADOS		Nº	FD- 8101.01-8410-833-GPG-001	REV.	G	
		CLIENTE/OUTUBRÃO				CENTRO DE TECNOLOGIA EM DUTOS - CTDUT		FOLHA
		TÍTULO				VALVULAS MOTORIZADAS TIPO ESFERA		
1	IDENTIFICAÇÃO		XV-8101-01	XV-8101-02	XV-8101-03			
2	SERVIÇO		ENTRADA LRP1	SAÍDA LRP1	BY-PASS LRP 1			
3	LINHA		8"-HC-8101.01-020-Ca	8"-HC-8101.01-021-Ca	12"-HC-8101.01-022-Ca			
CONSTRUÇÃO	4	TIPO	NOTA 2	NOTA 2	NOTA 2			
	5	NORMA	ANSI B 31.4	ANSI B 31.4	ANSI B 31.4			
	6	DIMENSÃO DE CONSTRUÇÃO	API-6D	API-6D	API-6D			
	7	CURSO	90º	90º	90º			
	8	VEDAÇÃO DO EIXO	P/ FAB.	P/ FAB.	TEFLON			
	9	CLASSE DE VEDAÇÃO	ESTANQUE NOS 2 SENTIDOS	ESTANQUE NOS 2 SENTIDOS	ESTANQUE NOS 2 SENTIDOS			
	10	CONEXÃO DE PROCESSO	8" ANSI B 16.5 300# FR	8" ANSI B 16.5 300# FR	12" ANSI B 16.5 300# FR			
	11	ACABAMENTO DA FACE DOS FLANGES	RANHURAS CONCÊNTR.	RANHURAS CONCÊNTR.	RANHURAS CONCÊNTR.			
	12	DIÂMETRO DO EIXO	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA			
	13	PASSAGEM	PLENA	PLENA	PLENA			
	14	CONJUGADO MÁXIMO REQUERIDO	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA			
	15	CONJUGADO MÁX. PERMITIDO (N.m)	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA			
	16	CONJUGADO DE ASSENTAMENTO (N.m)	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA	INF. NA PROPOSTA			
	17	MONTAGEM	TRUNNION	TRUNNION	TRUNNION			
	18	QUANTIDADE	01	01	01			
	MATERIAIS	19	CORPO	ASTM A 216 Gr. WCB	ASTM A 216 Gr. WCB	ASTM A 216 Gr. WCB		
		20	TAMPA	ASTM A 216 Gr. WCB	ASTM A 216 Gr. WCB	ASTM A 216 Gr. WCB		
		21	SEDE	SOFT	SOFT	SOFT		
22		ESFERA	AISI 410	AISI 410	AISI 410			
23		"O" RING	P/ FAB.	P/ FAB.	P/ FAB.			
24		EIXO	P/ FAB.	P/ FAB.	P/ FAB.			
25		FLANGES	PADRÃO	PADRÃO	PADRÃO			
26		PRISIONEIROS E PORCAS	P/ FAB.	P/ FAB.	P/ FAB.			
27		JUNTAS	P/ FAB.	P/ FAB.	P/ FAB.			
ACESS.	28	ATUADOR ELÉTRICO	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1			
	29	VOLANTE	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1			
	30	PLAQUETA DE IDENTIFICAÇÃO	AÇO INOX	AÇO INOX	AÇO INOX			
	31							
	32							
COND. DE OPERAÇÃO	33	FLUIDO	ÁGUA/ÓLEO/DIESEL	ÁGUA/ÓLEO/DIESEL	ÁGUA/ÓLEO/DIESEL			
	34	ESTADO FÍSICO	LÍQUIDO	LÍQUIDO	LÍQUIDO			
	35	SENTIDO DE FLUXO	DUPLO	DUPLO	DUPLO			
	36	ΔP MÁXIMO (FECHAM. E ABERTURA)	20 kg/cm ² g	20 kg/cm ² g	20 kg/cm ² g			
	37	TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	25 °C	25 °C	25 °C			
	38	VISCOSIDADE	1 - 170 cst	1 - 170 cst	1 - 170 cst			
	39	DENSIDADE	0,8 - 1,1	0,8 - 1,1	0,8 - 1,1			
	40	TEMPO DE ABERTURA/FECHAMENTO	60 SEGUNDOS	60 SEGUNDOS	60 SEGUNDOS			
41	FABRICANTE DE REFERÊNCIA							
42	MODELO DE REFERÊNCIA							
43	UNIDADES: PRESSÃO (Kg/cm ² g)	TEMPERATURA (°C)						
44	NOTAS: VER ÚLTIMA FOLHA							