

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
MINAS, METALÚRGICA E DE MATERIAIS - PPGE3M**

DIÓGENES BARBOSA TELES

**EXECUÇÃO DE ENSAIOS, ANÁLISE DE DADOS E DETECÇÃO DE
FALHAS EM VÁLVULA DO TIPO ESFERA *TRUNNION* UTILIZADAS
NAS INSTALAÇÕES DE EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO, REFINO E
TRANSPORTE DE PRODUTOS DE PETRÓLEO**

PORTO ALEGRE

2020

DIÓGENES BARBOSA TELES

**EXECUÇÃO DE ENSAIOS, ANÁLISE DE DADOS E DETECÇÃO DE
FALHAS EM VÁLVULA DO TIPO ESFERA *TRUNNION* UTILIZADAS
NAS INSTALAÇÕES DE EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO, REFINO E
TRANSPORTE DE PRODUTOS DE PETRÓLEO**

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, modalidade Acadêmica, área de concentração de Ciência e Tecnologia dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Thomas Gabriel Rosauro Clarke

PORTO ALEGRE

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretor: Luiz Carlos Pinto Silva Filho

Vice-Diretora: Carla Schwengber Ten Caten

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Coordenador: Afonso Reguly

Vice-Coordenadora: Andréa Moura Bernardes

Espaço para ficha catalográfica

DIÓGENES BARBOSA TELES

EXECUÇÃO DE ENSAIOS, ANÁLISE DE DADOS E DETECÇÃO DE FALHAS EM VÁLVULA DO TIPO ESFERA *TRUNNION* UTILIZADAS NAS INSTALAÇÕES DE EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO, REFINO E TRANSPORTE DE PRODUTOS DE PETRÓLEO

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, modalidade Acadêmica, área de concentração de Ciência e Tecnologia dos Materiais.

Prof. Dr. Thomas Gabriel Rosauo Clarke
Orientador PPGE3M/UFRGS

Prof. Dr. Afonso Reguly
Coordenador do PPGE3M

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Diego Rizzotto Rossetto DAMEC/UTFPR _____

Prof. Dr. Marcelo Favaro Borges PPGE3M/UFRGS _____

Prof. Dr. Marcos Alexandre Luciano DEMEC/UCS _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu pai
Solivan Teles (em memória),
com amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por acompanhar-me em todos os momentos, dando-me sabedoria, saúde e força para continuar esta caminhada.

Ao meu pai Solivan Teles (em memória) e a minha mãe Leila Barbosa de Oliveira pelo incansável apoio ao longo da vida.

A minha esposa Cristina Bertocchi e filhos Diogo Bertocchi Teles e Maria Luiza Bertocchi Teles pela compreensão nos momentos de ausência e pelo incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Thomas Gabriel Rosauo Clarke pelo apoio, ensinamentos e orientações essenciais para desenvolvimento deste trabalho.

A todos os Professores (as) do PPGE3M pelo conhecimento transferido neste período.

Aos amigos e colegas de trabalho que compartilharam momentos, conhecimentos e experiências.

Ao gerente de engenharia da Micromazza Sr. José Francisco Mariano pelo apoio e ensinamentos.

A empresa Micromazza pelo apoio, oportunidade e confiança em mim depositados nos trabalhos relacionados às válvulas industriais.

Feliz aquele que transfere o que
sabe e aprende o que ensina.

Cora Coralina

RESUMO

As Válvulas são dispositivos mecânicos utilizados para o gerenciamento de fluidos. Estes equipamentos estão presentes em praticamente todos os segmentos da indústria. Em aplicações na produção de petróleo e gás, as válvulas são amplamente utilizadas, sendo que nos últimos anos, diversos trabalhos científicos têm sido publicados visando à busca por melhorias nestes equipamentos. Este trabalho tem como objetivo apresentar o método e os resultados de ensaios de desempenho aplicados em válvulas do tipo esferas *trunnion* utilizadas nas instalações de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo. São abordados os aspectos teóricos relacionados à concepção de projeto de válvula do tipo esfera *trunnion*, desenvolvimento de metodologia de ensaio, realização de ensaios práticos em protótipos e a avaliação de desempenho através de análises das assinaturas da válvula e do atuador. Foram realizados os ensaios cíclicos em protótipos, simulando as condições críticas de operações em campo. Verificou-se que os componentes mais críticos para estes projetos, são as vedações denominadas de sedes, na qual são fabricadas em material polimérico. Estas sedes, quando submetidas a ensaios cíclicos com o delta máximo de pressão entre a montante e a jusante da válvula e em condições de temperaturas elevadas, apresentam deformação excessiva, podendo ser combinada com a ruptura da banda de vedação, o que gera vazamentos entre o sistema de vedação da sede com a esfera. Este trabalho visa contribuir com a melhoria contínua relacionada às válvulas industriais apresentando informações e experiências para profissionais do segmento na busca por produtos com maior vida útil, qualidade, rentabilidade e segurança para as pessoas envolvidas no processo e ao meio ambiente.

Palavras Chaves: Válvulas Esfera, Ensaios de Protótipo, Ensaio Cíclicos em Válvulas, Assinatura de Válvulas.

ABSTRACT

Valves are mechanical devices used for fluid management. This equipment is present in practically all segments of the industry. In applications in oil and gas production, the valves are widely used, and in recent years, several scientific works have been published aiming at the search for improvements in these equipment's. This work aims to present the method and results of performance tests applied to trunnion ball valves used in installations for exploration, production, refining and transportation of petroleum products. Theoretical aspects related to the design of a trunnion ball valve, development of test methodology, practical tests on prototypes and performance evaluation through analysis of valve and actuator signatures are addressed. Cyclical tests were carried out on prototypes, simulating the critical conditions of field operations. It was found that the most critical components for these projects, are the seals called seats, in which they are manufactured in polymeric material. These seats, when subjected to cyclical tests with the maximum pressure between upstream and downstream of the valve and in conditions of high temperatures, present excessive deformation, which can be combined with the rupture of the sealing band, which generates leakages between the seat system with the ball. This work aims to contribute to the continuous improvement related to industrial valves, presenting information and experiences for professionals in the segment in the search for products with a longer useful life, quality, profitability and safety for the people involved in the process and the environment.

Keywords: Ball Valves, Prototype Testing, Cyclic Testing on Valves, Signature Valves.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esboço de válvula do tipo esfera <i>trunion</i> e os seus principais componentes.	26
Figura 2 – Sistema de vedação da válvula esfera <i>trunion</i>	27
Figura 3 – Esboço de atuador hidráulico retorno por mola e suas principais partes.	32
Figura 4 – Diagrama das principais normas aplicáveis a válvulas do tipo esfera.	33
Figura 5 – Defeitos em sedes resilientes de válvulas do tipo esfera.	36
Figura 6 – Porcentagem de problemas relacionado ao tipo de válvula.	36
Figura 7 – Causas primárias para problemas encontrados em válvulas.	37
Figura 8 – Representação das regiões de atrito da válvula durante o acionamento.	40
Figura 9 – Diagrama de corpo livre dos esforços com a pressão a montante.	41
Figura 10 – Diagrama de corpo livre dos esforços na haste.	43
Figura 11 – Esboço do contato entre a sede a esfera.	45
Figura 12 – Fotos das instrumentações dos protótipos de acordo com a faixa de temperatura do ensaio.	50
Figura 13 – Diagrama esquemático para ensaio de protótipo.	51
Figura 14 – Plotagem da pressão do atuador e torque na haste pela posição da esfera.	53
Figura 15 – a) Processo de medição, b) Desenho em corte da esfera em contato com o anel da sede.	55
Figura 16 – Apresentação dos dados plotados de forma gráfica dos primeiros 1000 ciclos.	56
Figura 17 – Gráfico de um ciclo gerado ao longo dos ensaios cíclicos.	57
Figura 18 – Assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas, 3 protótipos, temperatura ambiente.	59
Figura 19 – Pontos notáveis de pressão do atuador hidráulico, temperatura ambiente.	60
Figura 20 – Pontos notáveis do torque na haste da válvula, temperatura ambiente.	60
Figura 21 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 1.	61
Figura 22 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 2.	62
Figura 23 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 3.	62
Figura 24 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 1 após os ensaios cíclicos.	63
Figura 25 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 2 após os ensaios cíclicos.	64
Figura 26 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 3 após os ensaios cíclicos.	64
Figura 27 – Assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas para os 3 protótipos, temperatura mínima.	65
Figura 28 – Pontos notáveis de pressão do atuador hidráulico, temperatura mínima.	66
Figura 29 – Pontos notáveis do torque na haste da válvula, temperatura mínima.	67
Figura 30 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 4.	67
Figura 31 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 5.	68
Figura 32 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 6.	68
Figura 33 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 4 após os ensaios cíclicos.	69
Figura 34 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 5 após os ensaios cíclicos.	70
Figura 35 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 5 após os ensaios cíclicos.	70
Figura 36 – Assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas para os 3 protótipos, temperatura máxima. ...	71
Figura 37 – Pontos notáveis de pressão do atuador hidráulico, temperatura máxima.	72
Figura 38 – Pontos notáveis do torque na haste da válvula, temperatura máxima.	73

Figura 39 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 7.	73
Figura 40 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 8.	74
Figura 41 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 9.	75
Figura 42 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 7 após os ensaios cíclicos.	75
Figura 43 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 8 após os ensaios cíclicos.	76
Figura 44 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 9 após os ensaios cíclicos.	76
Figura 45 – Foto da realização do teste de sede por meio de contagem de bolhas, temperatura mínima.	77
Figura 46 – Esboço da região de crack-open durante o início da abertura.	83
Figura 47 – Gráfico radar elaborado com base nos resultados dos ensaios de protótipos.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de normas e definições quanto à válvula esfera NPS 3 CL600 com sedes em RPTFE.....	34
Tabela 2 – Resultados da Pesquisa com cerca de 250.000 Válvulas.	37
Tabela 3 – Dados dos protótipos.	38
Tabela 4 – Faixa de abrangência do protótipo por diâmetro e classe de pressão.....	39
Tabela 5 – Dados para a realização dos ensaios cíclicos.	47
Tabela 6 – Dados dos principais componentes utilizados nos ensaios cíclicos.	49
Tabela 7 – Detalhamento dos pontos do gráfico da Figura 15.	58
Tabela 8 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis da pressão do atuador. Temperatura ambiente.	59
Tabela 9 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis do torque na haste. Temperatura ambiente.	61
Tabela 10 – Altura de controle antes e após os ensaios em temperatura ambiente.	63
Tabela 11 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis da pressão do atuador. Temperatura mínima.	66
Tabela 12 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis do torque na haste. Temperatura ambiente.	66
Tabela 13 – Altura de controle antes e após os ensaios em temperatura mínima.	69
Tabela 14 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis da pressão do atuador. Temperatura máxima.	72
Tabela 15 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis do torque na haste. Temperatura máxima.	72
Tabela 16 – Altura de controle antes e após os ensaios em temperatura máxima.	77

LISTA DE ABREVIATURAS

AP	Alta pressão
BP	Baixa pressão
CL	Classe de pressão da válvula
COD	Comunicado de Ocorrência de Divergências (Ferramenta interna Petrobrás)
DN	Diâmetro nominal da válvula em milímetros
ESDV	<i>Emergency Shut Down Valve</i> – válvula de fechamento de emergência
FSC	<i>Fail Safe Close</i> – fechamento seguro em falha
NPS	<i>Nominal Pipe Size</i> – Diâmetro nominal da tubulação/válvula em polegadas
PEEK	<i>Poly-ether-ether-ketone</i> – Poli-éter-éter-cetona
PMT	Pressão máxima de trabalho
PCTFE	Policlorotrifluoroetileno
PTFE	Politetrafluoretileno
RPTFE	<i>Reforced PTFE</i> – PTFE reforçado
SVV	Sem vazamento visível
TNO	Torque nominal de operação
TRAC	Torque real de abertura com diferencial de pressão
TRAS	Torque real de abertura sem diferencial de pressão
TRFC	Torque real de fechamento com diferencial de pressão
TRFS	Torque real de fechamento sem diferencial de pressão
TRO	Torque real de operação

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASME	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>ASTM International - American Society for Testing and Materials</i>
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial
MSS	<i>Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry</i>
NBR	Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	Área (mm ²)
<i>D</i>	Diâmetro (mm)
<i>F</i>	Força normal de tração, compressão ou cisalhamento (N)
<i>G</i>	Cota de ângulo no projeto (°)
<i>H</i>	Cota de altura no projeto (mm)
<i>L</i>	Cota de largura ou distância no projeto (mm)
<i>P</i>	Pressão (bar)
<i>R</i>	Cota utilizada para raios (mm)
<i>S</i>	Tensão (MPa)
μ	Coefficiente de atrito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
1.2	HISTÓRICO RELACIONADO às VÁLVULAS.....	18
1.3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	21
1.4	JUSTIFICATIVA.....	22
1.5	TEMA E OBJETIVOS.....	23
1.6	CONTRIBUIÇÕES DA TESE	23
1.7	ABRANGÊNCIA E DELIMITAÇÃO	24
1.8	MÉTODO DE PESQUISA	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1	VÁLVULA INDUSTRIAL DO TIPO ESFERA TRUNNION	26
2.2	TRABALHOS CORRELATOS	27
2.3	SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS.....	31
2.4	PROJETO, NORMALIZAÇÃO E TESTES RELACIONADOS ÀS VÁLVULAS	32
2.5	FALHAS EM VÁLVULAS DO TIPO ESFERA	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	SELEÇÃO DOS PROTÓTIPOS	38
3.2	DETERMINAÇÃO DO TORQUE NOMINAL DE OPERAÇÃO (TNO).....	39
3.2.1	Determinação das forças atuantes	40
3.2.2	Determinação dos torques atuantes.....	43
3.2.3	Determinação da pressão de contato entre sede e esfera.....	44
3.3	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DOS ENSAIOS	46
3.4	INSTRUMENTAÇÃO DOS PROTÓTIPOS PARA OS ENSAIOS.....	47
3.5	MONITORAMENTO, AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	52
3.6	INSPEÇÃO DOS COMPONENTES APÓS OS ENSAIOS	55
4	RESULTADOS.....	56
4.1	CÁLCULOS ANALÍTICOS.....	56
4.2	ENSAIOS EM TEMPERATURA AMBIENTE.....	56
4.3	ENSAIOS EM TEMPERATURA MÍNIMA.....	65
4.4	ENSAIOS EM TEMPERATURA MÁXIMA	71
4.5	MEDIÇÕES DE VAZAMENTO.....	77
5	DISCUSSÕES.....	78

6	CONCLUSÃO	84
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	86
	BIBLIOGRAFIA	87
	APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULOS	93
	APÊNDICE B – FOTOS DOS PROTÓTIPOS, COMPONENTES E ENSAIOS	95
	ANEXO A – DESENHO DE VÁLVULA PROTÓTIPO NPS 3 CL600	98
	ANEXO B – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE TESTE.....	99
	ANEXO C – CERTIFICADOS DE CONFORMIDADE INMETRO	118

1 INTRODUÇÃO

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é composta por sete capítulos.

O primeiro capítulo contém a introdução do trabalho que contempla: estrutura da tese, histórico relacionado às válvulas, descrição do problema, justificativa, tema, objetivos gerais e específicos, contribuições da tese, abrangências, delimitações e método de pesquisa adotado para a realização da tese.

No segundo capítulo é efetuada uma revisão bibliográfica relacionada às válvulas industriais do tipo esfera. Aborda-se: trabalhos correlatos, válvula esfera, sistema de acionamento, projeto, normalização e falhas em válvulas.

O terceiro capítulo é denominado de “materiais e métodos”. Neste, é apresentado o método para determinação do torque de acionamento de projeto de válvula do tipo esfera *trunnion*, pressão de contato entre a sede e a esfera, metodologia empregada para os ensaios de protótipos e a análise dos resultados proveniente dos testes.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos.

No quinto capítulo são expostas as discussões sobre os resultados obtidos.

O sexto capítulo exhibe as conclusões da tese.

O sétimo capítulo apresenta sugestões para trabalhos futuros em continuidade com o projeto de pesquisa da tese.

Os ANEXOS e APÊNDICES complementam os capítulos do trabalho apresentando: complementos teóricos, resultados, fotos e certificados.

1.2 HISTÓRICO RELACIONADO ÀS VÁLVULAS

As grandes invenções da humanidade geralmente estão relacionadas às suas necessidades. Isto ocorreu também na invenção e desenvolvimento das válvulas. Pouco se sabe sobre os métodos utilizados para controlar o fluxo de fluidos na antiguidade, porém estima-se que algum tipo de comporta era obviamente, utilizada para manter e reter a água nos canais de irrigação. É provável que, naquele momento, ocorreram as primeiras utilizações de válvulas rudimentares do tipo *Flap*, que mais tarde tornaram-se precursoras das válvulas do tipo retenção da atualidade (BVAA, 2010) (LYONS, 1982).

Estima-se que as primeiras válvulas com projetos considerados sofisticados, estejam relacionadas aos períodos dos gregos e romanos. Estas civilizações desenvolveram muitas máquinas mecânicas e hidráulicas, as quais necessitavam da utilização de válvulas. Bronze e latão eram os materiais de uso comum em válvulas de bloqueio em redes de água e tubulações de alimentação de edifícios públicos e domésticos, durante o período romano (BVAA, 2010) (VMA, 2013) (PEARSON, 1972).

Os primeiros anos do século XVIII marcaram o início da revolução industrial e a chegada das máquinas a vapor nortearam os projetos mecânicos da época. James Watt estabeleceu o passo decisivo para o desenvolvimento da máquina a vapor, quando patenteou o condensador separador em 1769. As suas máquinas a vapor, de simples e duplo pistão efeito, incluíam diversas válvulas como as do tipo *Flap*, Macho e posteriormente Borboleta (BVAA, 2010).

Durante o século XIX, diversos engenheiros dirigiram suas atenções para as válvulas. Notavelmente Timothy Hackworth, introduziu as primeiras molas ajustáveis em válvulas de segurança aplicadas em vapor, substituindo o sistema de pesos utilizados até então. Outra grande inovação ocorreu em 1875 com a introdução no mercado da válvula do tipo Macho, semelhante aos projetos da atualidade, por Dewrance & Co. Em 1886, Joseph Hopkinson introduziu a válvula de guilhotina, onde a vedação era efetuada pela pressão sobre um disco a jusante. Ainda hoje ela é fabricada e amplamente utilizada em centrais de serviço a vapor em alta pressão (BVAA, 2010).

O vapor, como fonte de energia, conduziu a revolução industrial. Válvulas para trabalhar com vapor eram, portanto, as primeiras a receber a atenção dos engenheiros. A partir disso, deu-se a evolução do abastecimento de água, o uso de óleo e gás como fontes de energia, os produtos químicos e a energia nuclear. Todas essas indústrias necessitaram de válvulas e apresentaram aos fabricantes grandes desafios para as suas habilidades inovadoras (BVAA, 2010) (VMA, 2013).

Os desenvolvimentos foram sendo realizados, inicialmente, em tipos de válvulas já existentes. A válvula do tipo Macho com obturador cônico foi desenvolvida durante a Primeira Guerra Mundial por Sven Nordstrom, engenheiro sueco, que buscava minimizar o vazamento excessivo e o emperramento de válvulas Macho comuns (BVAA, 2010).

A válvula do tipo Borboleta, inicialmente, foi desenvolvida para sistemas de combustível em aeronaves durante a Segunda Guerra Mundial. Uma referência já havia sido feita anteriormente por James Watt. Ele fez uso de uma válvula do tipo borboleta nas suas primeiras máquinas a vapor. Outro exemplo do início das aplicações foi o primeiro carro da

Mercedes Benz, construído por volta de 1900. Utilizou-se uma válvula Borboleta no consumo de combustível ligado ao pedal do acelerador (BVAA, 2010).

Uma descoberta acidental, em 1938, pelo Dr. Plunkett no laboratório Jackson da Du Pont[®], em Nova Jersey, na qual ele tinha polimerizado o tetrafluoroethylene (TFE), um material branco sólido e ceroso, atualmente denominado politetrafluoretileno (PTFE), foi de grande importância para a indústria das válvulas. O PTFE *Teflon*[®], anos mais tarde, provou ser um material com resultados satisfatórios quando aplicado em vedações de válvulas (BVAA, 2010) (EDNESAJJAD, 2003).

O PTFE demonstrou resistência à quase todos os produtos químicos e solventes, e a sua superfície possui baixa rugosidade, o que colabora com a minimização da magnitude do torque de acionamento. As vedações em PTFE passaram a ser aplicadas em praticamente todos os tipos de válvulas. Posteriormente, foram sendo desenvolvidas modificações no PTFE e a adição de cargas, o que provocou um efeito profundo na engenharia de válvulas devido a melhores desempenhos em aplicações específicas. Além de vedações, o PTFE também passou a ser utilizados como revestimento interno em válvulas para trabalhar com fluidos altamente corrosivos (BVAA, 2010).

Em 1960 foi patenteada a primeira válvula esfera bidirecional com vedações em PTFE, classe de vedação sem vazamento visível a temperatura ambiente por Howard G. Freeman. O conceito de válvula esfera já havia sido patenteado em 1871 por Jhon Warren, porém, o projeto era do tipo vedação (metal x metal) através dos contatos entre materiais de bronze. Este, não funcionou muito bem por apresentar vazamentos excessivos após a realização de alguns acionamentos. Por ser totalmente estanque, a válvula de Freeman estabeleceu um marco importante na história, tornando-se, desde então, um dos conceitos de válvulas mais utilizados no mundo até a atualidade (VMA, 2013).

O século XX também foi marcado pela publicação de diversas normas importantes que estão diretamente relacionadas aos padrões construtivos das válvulas da atualidade. As normas têm a função de nortear tanto os fabricantes, como os usuários, em relação a requisitos gerais. Além de tornar as válvulas intercambiáveis em qualquer parte do mundo (BVAA, 2010) (VMA, 2013).

No início dos anos 2000 em diante, intensifica-se, no Brasil, a pesquisa e desenvolvimento relacionado às válvulas, principalmente para aplicação em petróleo e gás. Isto ocorre devido às altas exigências nas aplicações. Também são publicados alguns trabalhos acadêmicos relacionados ao tema.

Em 2007 é lançada a norma brasileira ABNT NBR 15827. A mesma, apresenta os requisitos de projeto e ensaios de protótipos aplicados em válvulas industriais para instalações de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo. Atualmente, a norma está na sua quinta edição (2018).

Nesse sentido, verifica-se a notável a relação entre o desenvolvimento das válvulas no gerenciamento de fluidos com a evolução da humanidade. Verifica-se, historicamente, que as aplicações de válvulas se tornam cada vez mais severas, o que exige melhores projetos, sendo estes, o alvo de engenheiros e pesquisadores do meio.

1.3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As válvulas industriais são equipamentos desenvolvidos para prover, bloquear ou controlar o fluxo de fluidos. Tem papel fundamental nas aplicações das indústrias como a de petróleo, gás, alimentícia, química e todos os processos em que existe a necessidade de manipulação de fluidos (MATHIAS, 2008).

A fabricação de válvulas no Brasil iniciou-se na década de 50. Nos anos 2000, verifica-se o início da produção acadêmica e científica brasileira relacionada às válvulas do tipo gaveta para aplicação submarina (EUTHYMÍOU, 2001).

Entre 1998 e 2002, a empresa brasileira Petrobrás, maior consumidora de válvulas nacionais, verificou a falta de qualidade nos equipamentos adquiridos através do monitoramento do crescimento dos Comunicados de Ocorrência de Divergências (COD), ferramenta interna de gestão da qualidade que a empresa utilizava para apurar danos em equipamentos de produção. Foi estimado enorme prejuízo em função de paradas não programadas no processo produtivo de óleos e derivados, a reposição de equipamentos com defeito, danos ambientais e acidentes de trabalho (BOSCO, 2011).

Na época, de modo a buscar soluções para estes problemas, foi criado um grupo de estudo com pesquisadores da Petrobrás em conjunto com os fabricantes de válvulas para a realização de melhorias no produto e nos processos. Originou-se a norma ABNT NBR 15827 (2007), a qual apresentou os requisitos de projeto e qualificação de válvulas industriais (BOSCO, 2011).

Diversas revisões na norma ABNT NBR 15827 foram efetuadas, tais como a de 2011, que foi acompanhada pela publicação da Portaria INMETRO nº 272 (2011), na qual apresentam-se os requisitos para avaliação da conformidade para válvulas utilizadas em

produtos de petróleo. Ocorreram revisões em: 2013, 2014 e 2018, sendo a última, a versão atual. Foram efetuadas alterações e adequações resultando em melhorias a cada revisão.

Embora sejam notáveis as movimentações do setor na busca por melhorias nas válvulas industriais nas últimas décadas, ainda assim são computadas inúmeras falhas de válvulas em operação. Isto ocorre devido a diversos motivos que vão desde a seleção incorreta do equipamento, a manipulação incorreta, falhas de projeto e o desconhecimento do comportamento das válvulas em operação. Visto que a normalização atual fornece, em suma, diretrizes gerais para o projeto e testes de aceitação do produto em fábrica (CHURM, 2008).

Com base nisso, este trabalho tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento do setor quanto ao projeto e ensaios de desempenho relacionados às válvulas do tipo esfera *trunnion*, fornecendo material para o entendimento do funcionamento do equipamento, os seus pontos críticos e até mesmo servindo de base para uma instrumentação e análise de dados de uma válvula instalada em campo.

1.4 JUSTIFICATIVA

O mercado cada vez mais necessita de válvulas confiáveis. Porém, para válvulas industriais, como as do tipo esfera existem poucas informações com relação aos ensaios cíclicos e análise dos resultados dos testes de desempenho. As informações atuais provindas de normas são, muitas vezes, contraditórias entre si ou apresentam poucas informações sobre o aparato de teste e método de análise. Portanto, as normas atuais para estes equipamentos contêm informações para testes de pressão a serem realizados no fabricante. Testes estáticos de pressão que não contemplam ensaios cíclicos, temperatura, aquisição e análise de dados.

A válvula do tipo esfera com sedes em material resiliente, o PTFE e RPTFE, são, atualmente, as válvulas mais utilizadas no mercado. Porém, as informações são contraditórias nas normas, principalmente em se tratando de aplicações em temperaturas extremas, como poderá ser verificado na secção 2.4 deste trabalho.

Outro fator motivador é que os estudos e dados desenvolvidos neste trabalho servirão de base para estudos posteriores com outros tipos de válvulas, além de fornecer informações relevantes aos usuários destes equipamentos e estudiosos do segmento.

1.5 TEMA E OBJETIVOS

O presente trabalho tem como tema o estudo do comportamento de válvula do tipo esfera *trunnion*, com sedes resilientes em condições críticas de operação.

O objetivo principal é desenvolver e realizar ensaios em protótipos de válvulas do tipo esfera *trunnion* para a avaliação de desempenho por meio de análise das assinaturas provenientes dos dados obtidos nos testes.

Os objetivos específicos do trabalho são apresentados a seguir:

- a) Prever por meio de cálculos o torque nominal de operação (TNO);
- b) Prever por meio de cálculos a pressão de contato entre a sede e esfera;
- c) Desenvolver sistema de ensaio de protótipos de válvulas;
- d) Executar ensaios cíclicos nas condições críticas de operação em protótipos de válvulas do tipo esfera *trunnion* equipada com atuador hidráulico;
- e) Analisar os resultados dos ensaios por meio das assinaturas das válvulas;
- f) Obter conclusões sobre o comportamento de válvulas do tipo esfera *trunnion* em operação;
- g) Contribuir com o setor industrial e acadêmico através de informações relevantes sobre funcionamento e componentes críticos de válvulas do tipo esfera, apresentando método aplicável em outros equipamentos semelhantes.

1.6 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

- a) Contribuir com a evolução e desenvolvimento dos equipamentos denominados válvulas industriais, visando melhores projetos, com maior grau de segurança, confiabilidade e durabilidade. Com isso, trazer benefícios a todos os envolvidos direta e indiretamente no uso destes equipamentos;
- b) Fornecer ao setor acadêmico e industrial um trabalho de referência para consultas sobre projeto e ensaios de válvulas do tipo esfera;
- c) Apresentar resultados e conclusões sobre a realização de ensaios acelerados em protótipo de válvula do tipo esfera;
- d) Os resultados do estudo podem ser usados como indicador de qualidade do projeto;
- e) Prover um trabalho relevante quanto à realização de homologação de produto;

- f) Prover um trabalho de base para utilização em válvula em operação, com o objetivo de monitorar e prever a necessidade de manutenções e/ou garantir a sua funcionalidade.

1.7 ABRANGÊNCIA E DELIMITAÇÃO

Este trabalho se delimita ao estudo sobre as válvulas industriais do tipo esfera, sendo este um dos modelos mais utilizados pela indústria atualmente.

Os estudos consideraram uma configuração de válvula do tipo esfera *trunnion* em condições críticas de operação, trabalhando na máxima pressão de trabalho de projeto e nos extremos da temperatura de aplicação.

1.8 MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Gil (2002), a pesquisa pode ser definida como o processo racional e sistemático que tem por objetivo encontrar respostas à problemas propostos. A pesquisa se faz necessária quando não se dispõem de informações suficientes para responder a um problema. Ou, ainda, quando as informações disponíveis se encontram de forma desordenada, de maneira que não podem ser relacionadas adequadamente com o problema.

Nesse sentido, sob o ponto de vista de Gil (2002), pode-se classificar a presente pesquisa como: exploratória, descritiva e explicativa. Quanto ao caráter exploratório, refere-se ao estudo e levantamento de dados bibliográficos relacionados com o tema “válvulas industriais” para, conseqüentemente, trabalhar em estudo de caso que, neste trabalho, está relacionado à realização de ensaios práticos em válvula do tipo esfera. Quanto ao objetivo descritivo, está relacionado com a descrição do comportamento da família de válvulas do tipo esfera quanto ao seu funcionamento em relação às variáveis envolvidas. Já, a pesquisa explicativa, relaciona-se com a identificação dos fatores correlatos à eficiência e desempenho de válvulas do tipo esfera e a elaboração de conteúdo explicativo dos fenômenos relacionados. A pesquisa, ainda, estabelece relação entre o estudo teórico e prático de modo a elucidar os fatos relacionados ao tema (GIL, 2002).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, segundo Gil (2002), esta tese pode ser enquadrada em três categorias. (a) Pesquisa bibliográfica: elaborada a partir de material já publicado proveniente de livros, artigos, dissertações, teses e normas nacionais e internacionais. (b) Pesquisa experimental, ao definir o objeto de estudo e as suas variáveis. E,

por fim, (c) pesquisa relacionada a estudo de caso que, neste sentido, refere-se ao estudo do objeto da tese, as válvulas industriais do tipo esfera.

Do ponto de vista da sua natureza, esta pesquisa pode ser classificada como, do tipo aplicada, com o objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos, neste caso, a eficiência do sistema de vedação da válvula (GERHARDT, et al., 2009).

Quanto à sua abordagem, esta tese, pode se enquadrar no tipo mista, ou seja, pesquisa de abordagem quantitativa e qualitativa. Sob a perspectiva quantitativa, está relacionada à realização dos ensaios de protótipo de válvula através da geração de gráficos e posteriormente, à análise dos dados. Sob a ótica qualitativa, está relacionada à dinâmica entre o protótipo de válvula, o desenvolvimento e a realização dos ensaios que tendem a reproduzir a sua aplicação real em operação. Realiza-se a interpretação dos fenômenos buscando o entendimento dos mesmos na sua totalidade (GERHARDT, et al., 2009).

Quanto ao método científico, o mesmo pode ser definido como o conjunto de processos ou operações que devem ser empregados na investigação. É a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa. Os métodos abordados nesta tese são de caráter dedutivo e indutivo. Quanto ao método dedutivo, aplica-se através do intermédio da análise que parte do geral para o caso particular. Esta tese se inicia com os conceitos gerais, teóricos e históricos das válvulas industriais e transcorre ao longo da obra sobre o estudo específico aplicado à válvula do tipo esfera. Quanto ao método indutivo, está relacionado ao conhecimento gerado e fundamentado na experiência. Neste método, a generalização deriva de observações de casos reais ou práticos, ou seja, dos ensaios em protótipos aplicados nesta tese (SILVA, et al., 2005) (LAKATOS, et al., 1992).

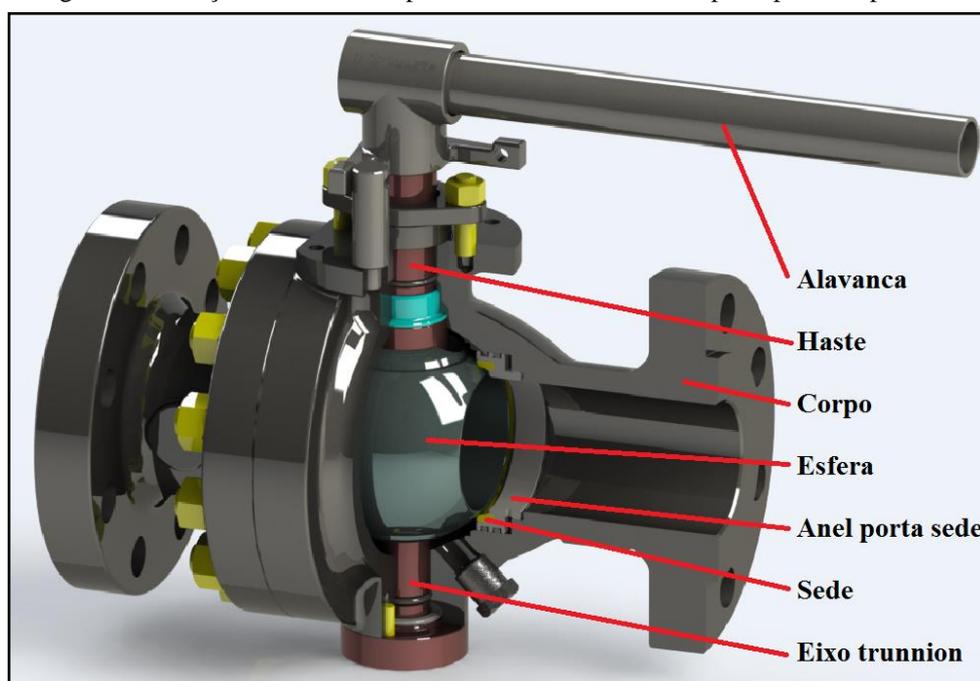
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VÁLVULA INDUSTRIAL DO TIPO ESFERA TRUNNION

Válvulas do tipo esfera são basicamente de funcionamento *on-off*, na qual uma esfera é utilizada como obturador com um orifício passante. Esta descreve um movimento rotacional de 0° a 90° em relação ao sentido de escoamento do fluxo na tubulação ou recipiente para abrir e fechar. Na posição aberta, o furo da passagem da esfera fica totalmente alinhado com a tubulação, permitindo a vazão do fluido. Na posição fechada, o orifício da esfera fica perpendicular ao sentido do escoamento do fluxo, efetuando o bloqueio da passagem do fluido (MATHIAS, 2008) (SILVA, 2010).

A Figura 1 apresenta um esboço de uma válvula do tipo esfera *trunnion* e os seus principais componentes.

Figura 1 – Esboço de válvula do tipo esfera *trunnion* e os seus principais componentes.

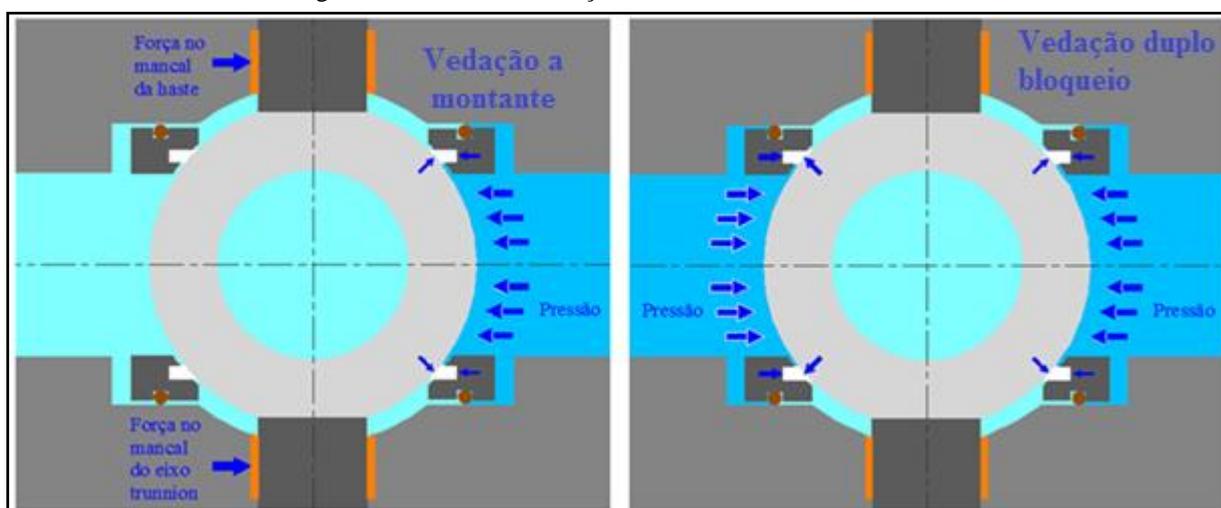


Fonte: Adaptado de (Micromazza, 2020).

Para o projeto de válvula esfera do tipo *trunnion*, a esfera é biapoada por eixos na qual o componente de vedação é geralmente denominado anel da sede ou porta sede, que consiste de um anel metálico com o inserto de um anel de vedação de material resiliente denominada de sede. Este, move-se em efeito pistão, realizando a vedação a montante, ou

seja, na entrada da cavidade interna da válvula. Os apoios da esfera são efetuados pelo eixo *trunnion* na parte inferior e pela haste na parte superior, a qual efetua o movimento de rotação para mover o obturador nas posições aberto e fechado. Os esforços são absorvidos por mancais autolubrificantes que também têm a função de minimizar o atrito durante os acionamentos da válvula. As linhas de centro vertical da esfera e do corpo da válvula permanecem sempre alinhadas. O conceito *trunnion* além da vedação a montante permite estanqueidade do fluido nos dois sentidos de fluxo, efetuando a vedação denominada de duplo bloqueio conforme ilustração da Figura 2 (MATHIAS, 2008) (DICKENSON, 1999).

Figura 2 – Sistema de vedação da válvula esfera *trunnion*.



Fonte: Adaptado de (DICKENSON, 1999).

Para a fabricação dos componentes denominados sedes, que efetuam a vedação junto ao obturador em válvulas do tipo esfera, em grande parte das aplicações utilizam-se materiais do grupo dos polímeros, por isso, são denominados de resilientes de acordo com a norma ABNT NBR 15827 (2018). A resiliência de um material é a propriedade pela qual a energia armazenada num corpo deformado é devolvida quando cessa a tensão causadora da deformação elástica (CALLISTER, 2008) (ASHBY, 2012).

2.2 TRABALHOS CORRELATOS

Atualmente existem diversas publicações importantes relacionadas às válvulas industriais. A seguir, apresenta-se a relação das publicações mais recentes presentes em periódicos internacionais e de relevante fator de impacto relacionados aos estudos sobre o comportamento das válvulas por meio de ensaios.

Moses, et al. (2019) realizaram uma investigação de falha em válvula do tipo esfera de bitola ¼”, em material liga de bronze. A mesma operava extensivamente num estado parcialmente aberta. A válvula apresentou sinais de danos extremos de erosão e corrosão nos componentes internos e acabou sendo substituída devido a vazamentos no corpo. Os mecanismos de falha observados são um resultado da seleção incorreta da válvula e erro operacional. Um sistema de *loop* foi criado para ensaio com fluido abrasivo. Concluiu-se que este tipo de válvula não deve ser aplicada semiaberta, devendo ser substituída por válvulas do tipo globo para controle de vazão.

Asim, et al. (2019) realizaram estudo do desempenho de válvula globo de controle por meio de ensaios cíclicos, verificando-se os efeitos da geometria de obturadores quanto à capacidade de fluxo. Este estudo mostrou a relevância de ensaios práticos aliados às análises numéricas no objetivo de avaliar a eficiência deste tipo de equipamento. Estudo semelhante pode ser conduzido em outros tipos de válvulas tais como gaveta e esfera, sendo a segunda abordada no presente estudo.

Chern, et al. (2007), realizaram ensaios para verificação do comportamento do escoamento de fluidos em válvula do tipo esfera conforme a posição do obturador. Utilizou-se um visualizador de movimento de partículas para a verificação dos coeficientes de vazão da válvula. Também, Cui, et al. (2017), relataram resultados de experiências e simulações numéricas realizadas para investigar a influência do processo de abertura e fechamento nas características de fluxo interno da válvula do tipo esfera.

Ferreira, et al. (2018), realizaram trabalho experimental para verificação da perda de carga em válvula do tipo esfera com relação à porcentagem do fechamento. Também foram realizados estudos computacionais de fluidodinâmica, para suportar os resultados provenientes dos testes.

Praveen, et al. (2018), apresentaram a modelagem, simulação, teste de pressão e teste hiperbárico de uma válvula do tipo esfera de aplicação submarina. Foi utilizada uma câmara hiperbárica para simular a condição de pressão a 3000 metros de profundidade d'água. Os resultados obtidos fornecem informações relevantes à comunidade do meio quanto à compreensão de teste de pressão hiperbáricos em válvulas submarinas.

Bagherifard, et al. (2013), analisaram a falha de uma válvula esfera submarina, usada numa linha de oleoduto. A válvula era do mesmo tipo e material já utilizado em serviços, sem nenhum problema nas aplicações anteriores. Porém, uma válvula falhou nos primeiros ciclos de pressão durante os testes laboratoriais preliminares, mesmo a pressão aplicada sendo menor que os limites do projeto. Foram realizadas análises metalográficas e microestruturais

das superfícies da fratura por meio de microscópio eletrônico de varredura, além de medições de tensões residuais, dureza, tração, tenacidade e testes de impacto, para identificar as causas da falha. Os resultados permitiram avaliar que a falha foi devido a dois fatores concomitantes: um efeito de entalhe grave e um tratamento térmico incorreto.

Um estudo utilizando assinaturas de torque foi conduzido por Romanik, et al. (2019), onde os valores de torques necessários para abrir e fechar uma válvula do tipo esfera foram obtidos durante 1000 ciclos com o objetivo de caracterizar 3 geometrias de vedações fabricadas no material politetrafluoretileno (PTFE). Nos 3 casos, ao se comparar os valores de 6 assinaturas iniciais de torque com as 6 finais, nota-se uma diminuição nos valores. Porém, o estudo não contempla os dados referentes aos ciclos 6 até 994, impossibilitando traçar o perfil de desgaste das sedes e os seus impactos na assinatura de torque além de não localizar os pontos onde ocorreram as maiores variações.

Mnif, et al. (2013) submeteram uma válvula esfera a 1200 ciclos para determinar a mudança do coeficiente de atrito ao longo dos ciclos, 3 tipos de sedes foram testadas, mas a utilização dos dados durante todos os 1200 ciclos e o impacto da mudança do coeficiente na assinatura não foram abordados. O uso de assinaturas, tanto de pressão como de torque, não foi abordado neste estudo, somente os coeficientes de atritos.

Jeeves, et al. (2019) estudaram as assinaturas de pressão de um atuador, obtidas devido à vazão volumétrica da válvula em 3 patamares. Na primeira parte do trabalho foi abordado o impacto que a vazão possuía na assinatura de pressão. Na etapa posterior, foram avaliadas algumas falhas que possam ocorrer no equipamento onde o estudo foi conduzido sob a comparação de uma assinatura base, que exemplifica a válvula em perfeito funcionamento, com o sinal de falha.

Nos trabalhos realizados por Romanik, et al. (2019), Mnif, et al. (2013) e Jeeves, et al. (2019), uma análise através de todas as assinaturas de cada ciclo não foi abordada. Apenas em alguns casos, foram comparadas poucas assinaturas para detectar mudanças na operação da válvula. Compararam-se ciclos iniciais com os finais, ou seja, um sinal bom com um sinal ruim. Com isto, as análises de todos os outros dados da assinatura não foram estudadas, o que pode ser relevante para determinar mudanças graduais ou falhas na operação das válvulas ao longo dos ensaios. Outro ponto que poderia ser explorado seria a análise em conjunto dos dados de torque e pressão que a válvula fornece durante os seus ciclos. Isto poderia indicar um aumento excessivo no fator de atrito da sede contra a esfera ou um rompimento da própria sede, resultando num perfil de assinatura diferente dos anteriores. Os estudos mencionados

também não consideraram os extremos das temperaturas de operação que a válvula poderia ser submetida.

Além das produções acima, também são encontrados trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado de qualidade e relevância desenvolvidos no Brasil. Alguns dos principais deles relacionados ao tema deste trabalho são apresentados a seguir.

Euthymíou (2001) apresenta na sua dissertação de mestrado uma metodologia para testes funcionais aplicados às válvulas do tipo gaveta acionada por atuador hidráulico de aplicação submarina. Apresentam-se resultados de assinaturas de pressão do atuador, oriundos de testes práticos. Realiza análise estatística dos dados para avaliação da confiabilidade e estimativa da probabilidade de falha do projeto. Este autor retoma estes estudos em (2013), em válvulas do tipo gaveta *subsea* na sua tese de doutorado e indica na sugestão de trabalhos futuros a realização de estudos de ensaios cíclicos e assinaturas aplicadas às válvulas do tipo esfera *trunnion* na qual possui aplicações *subsea* e industrial.

Mashiba (2011) apresenta na sua dissertação de mestrado estudos de assinaturas de válvulas do tipo gaveta com atuador hidráulico *subsea* através de modelo matemático. Complementando este conceito, Gouveia (2018), apresenta a sua dissertação de mestrado dando continuidade aos estudos de modelos matemáticos aplicados em análises de assinaturas de válvulas.

Rossetto (2016) apresenta na sua tese de doutorado estudos de avaliação da integridade estrutural de válvulas industriais do tipo esfera e gaveta. Este autor comprova a importância deste tipo de análise de projeto em fase anterior à fabricação, minimizando a ocorrência de problemas técnicos durante os testes e até mesmo durante a operação.

Complementando os estudos apresentados, o presente trabalho consiste na submissão de nove protótipos de válvula do tipo esfera a ensaios cíclicos em temperatura ambiente, mínima e máxima de operação, simulando aplicações críticas com o objetivo de identificar falhas que podem ocorrer nestes equipamentos ao longo do processo. Utilizou-se a análise das assinaturas das válvulas bem como os pontos notáveis das mesmas quanto à pressão do atuador hidráulico e torque na haste para a verificação da transição no desempenho da válvula. Também foi realizado estudo sobre o perfil das assinaturas da pressão a montante e a jusante, na qual permitiram verificar a presença de vazamento nas sedes após determinado número de ciclos.

Com o presente estudo, torna-se possível fornecer ao setor acadêmico e industrial informações relevantes sobre o comportamento de válvulas de esfera em condições críticas de operação, apresentando metodologia aplicável a outros equipamentos similares. A

implementação desse tipo de avaliação em protótipos de válvulas ou equipamento já instalados em campo, podem trazer inúmeros benefícios, tais como: a melhoria de projetos, a prevenção de falhas, a prevenção da necessidade de manutenção, maior confiabilidade e maior segurança para todos envolvidos e ao meio ambiente.

2.3 SISTEMA DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS

Quanto ao sistema de acionamento das válvulas do tipo esfera, pode-se utilizar do tipo manual por meio de alavanca, volante e redutor ou, ainda, por acionamento automático com a utilização de atuadores (SILVA, 2010).

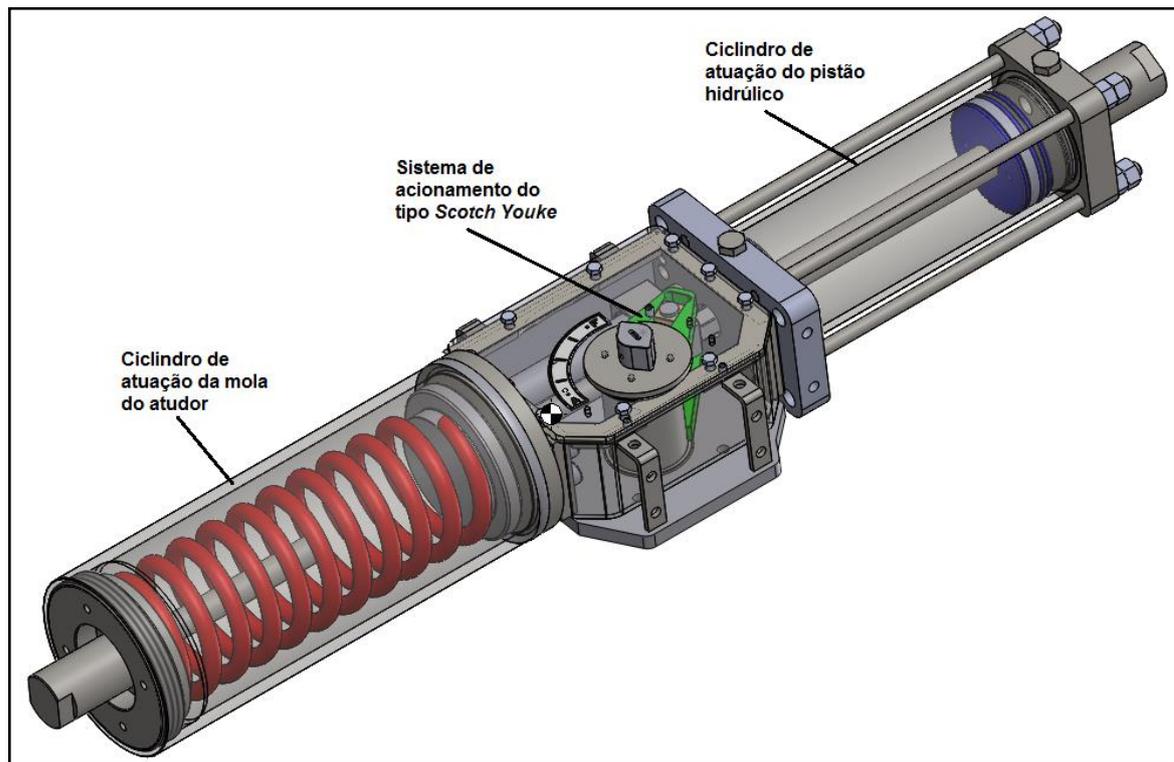
Aplicações críticas onde não são permitidas falhas na abertura e fechamento ou locais onde as válvulas são exigidas em operações de alto número de ciclos, utiliza-se sistema de operação automático por meio de atuadores que podem ser pneumáticos, elétricos, hidráulicos ou eletro-hidráulicos (MATHIAS, 2008).

Um exemplo de aplicação crítica de válvulas são as *Emergency Shutdown Valves* (ESDV). São válvulas de fechamento de emergência utilizadas em sistemas submarinos para promover a segurança da operação relacionada à extração e processamento da indústria petrolífera em aplicação *subsea*. O acionamento é provido por um atuador hidráulico que, quando pressurizado, realiza a abertura da válvula. Quando a pressão do atuador é sessada, a válvula retorna à sua posição inicial, a de normal fechada, através da força de uma mola acoplada à câmara de pressurização do atuador (EUTHYMÍOU, 2013) (GOUVEIA, 2018).

O sistema de atuação escolhido para o protótipo abordado nesta tese é o atuador hidráulico retorno por mola do tipo *Scotch Youke* assimétrico, padrão construtivo conforme norma API 6DX (2012).

Este tipo de atuador apresentado na Figura 3, é utilizado em válvulas de movimento rotativo. Este, transforma o movimento linear do pistão em rotativo no obturador da válvula. Estando instalado em uma válvula do tipo esfera, a pressão do fluido tem grande efeito na força requerida pelo atuador para operar a válvula. Os maiores torques e, conseqüentemente, maiores esforços para o atuador ocorrem no momento da abertura e fechamento da válvula, quando a condição é de delta máximo de pressão entre a montante e a jusante da válvula (MATHIAS, 2008) (API 6DX, 2012).

Figura 3 – Esboço de atuador hidráulico retorno por mola e suas principais partes.



Fonte: Adaptado de (Micromazza, 2020).

2.4 PROJETO, NORMALIZAÇÃO E TESTES RELACIONADOS ÀS VÁLVULAS

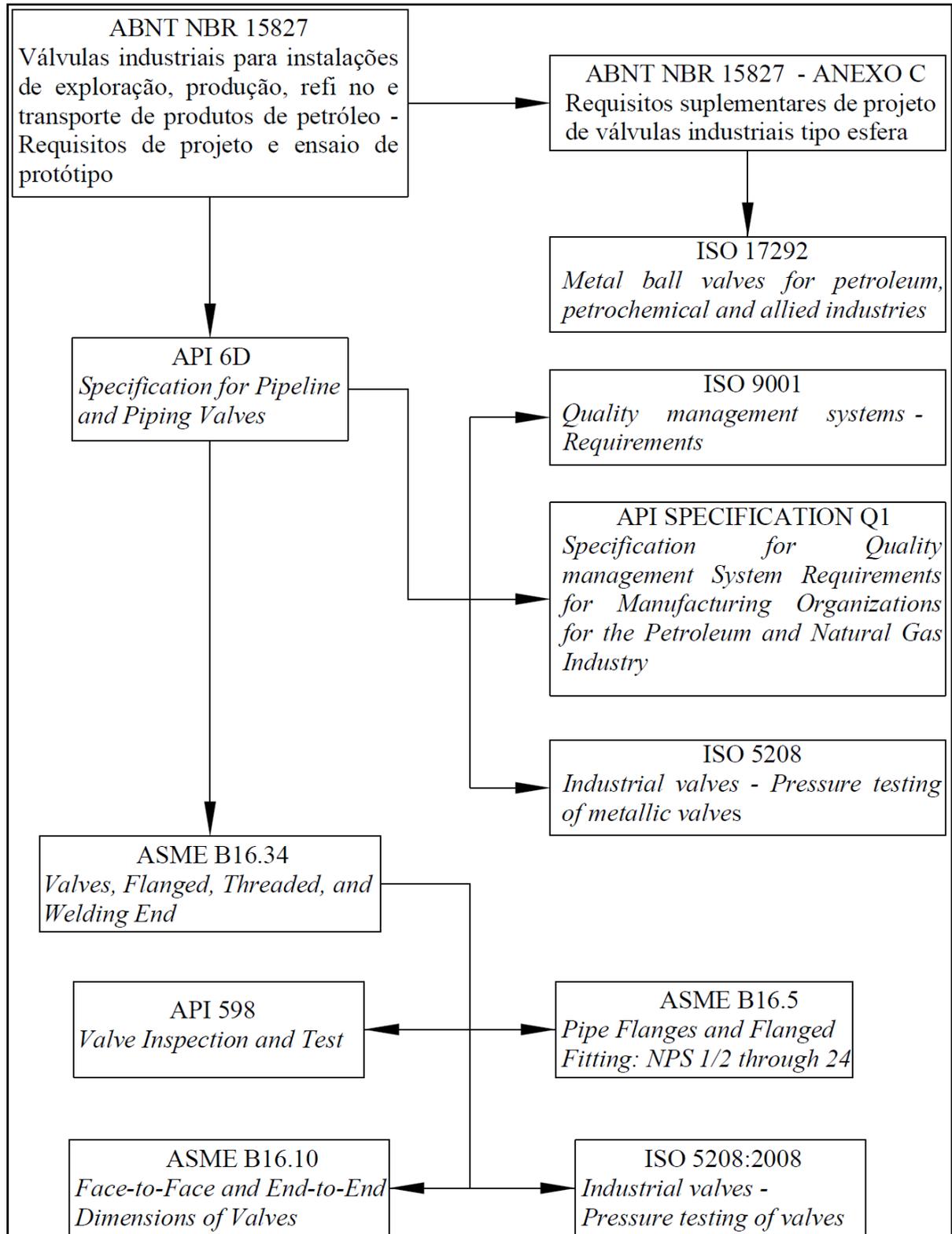
Os projetos de válvulas industriais do tipo esfera são guiados por normas nacionais e internacionais quanto ao dimensionamento e materiais empregados. No Brasil, tratando-se de válvulas para aplicações em instalações de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo, a norma relacionada é a ABNT NBR 15827 (2018). Esta, define grande parte dos parâmetros do projeto e ensaios. Também indica outras normas complementares, de acordo com a Figura 4, onde é apresentado um diagrama das principais normas relacionadas.

Quanto aos ensaios abordados e requeridos pelas normas internacionais, os mesmos estão relacionados a testes de aceitação em fábrica que são realizados no fabricante antes do envio das válvulas aos usuários finais. Estas normas apresentam requisitos para testes em temperatura ambiente onde não são requeridos testes ciclos, apenas testes estáticos de pressão nas sedes e no corpo. Portanto, não é avaliado o desempenho cíclico das válvulas.

Outra lacuna nas normas é que a classe de pressão e temperatura máxima de operação é definida pela norma ASME 16.34 (2017) e são relacionadas de acordo com a liga do material metálico utilizado para a fabricação do corpo da válvula. As mesmas não consideram as vedações que muitas vezes são fabricadas em materiais do grupo dos polímeros e/ou dos

elastômeros. Estes, por sua vez, possuem resistência à temperatura e pressão menores que o material que compõe a carcaça da válvula.

Figura 4 – Diagrama das principais normas aplicáveis a válvulas do tipo esfera.



Fonte: Autor (2020).

Entre as principais normas internacionais apresentadas na Figura 4, somente a ISO 17292 (2015) menciona o uso de vedações em PTFE ou RPTFE nas sedes. Esta, estabelece limites de pressão e temperatura para válvulas até a bitola NPS 4". Porém, não são apresentados detalhes dos ensaios e nem quantidade de ciclos previstas para estas condições. Ainda, apresenta divergências nos valores de limites se comparado com outras normas tais como: ISO 7121 (2016) e API 608 (2012), que também apresentam informações para válvulas com sedes resilientes.

A norma ABNT NBR 15827 (2018) apresenta definições quanto à pressão, temperatura máxima e número de ciclos para válvulas com vedações resilientes. Pressão da classe designada pela norma ASME 16.34 (2017), temperatura máxima 120 °C e 20 ciclos.

A Tabela 1 apresenta a relação das normas e suas definições quanto às restrições para uma válvula do tipo esfera *trunnion* NPS 3" CL600. Nesse sentido, verifica-se a divergência entre as normas e a falta de informações completas sobre esta configuração de válvulas.

Tabela 1 – Relação de normas e definições quanto à válvula esfera NPS 3 CL600 com sedes em RPTFE.

Norma	Temperatura	Pressão	Nº de ciclos
ABNT NBR 15827 (2018)	120 °C	(PMT) - CL600 - 92 bar	20
ISO 17292 (2015)	125 °C	31 bar	Não informa
ISO 7121 (2016)	125 °C	25,4 bar	Não informa
API 608 (2012)	122 °C	27,6 bar	Não informa

Fonte: Autor (2020).

Baseado nas informações e requisitos normativos necessários para prover o fornecimento de válvulas ao setor de óleo e gás verifica-se que somente os testes realizados em fábrica muitas vezes não são suficientes para garantir o atendimento às condições críticas de operação.

A norma ABNT NBR 15827 (2018) é o único padrão que prevê ensaios cíclicos de homologação. Porém, a forma que os testes devem ser realizados não é claramente apresentada. Também não apresenta como o aparato de ensaios deve ser construído.

Com isso, devido às divergências entre as normas ou a sua falta de informações mais precisas quanto aos limites de válvulas que utilizam sedes em materiais resilientes, tornam-se relevantes os estudos abordados neste trabalho. Para alguns parâmetros de ensaio, utilizou-se como referência a norma ABNT NBR 15827 (2018), porém, foram extrapolados valores de número de ciclos na busca por possíveis falhas que estes equipamentos podem apresentar em operações consideradas críticas.

2.5 FALHAS EM VÁLVULAS DO TIPO ESFERA

Existem muitos tipos de projetos de válvulas, e cada um tem uma particular adequação para determinadas aplicações e processos. A seleção adequada de válvulas para a aplicação é vital para garantir a eficiência do processo (CHURM, 2008).

Muitas válvulas foram originalmente projetadas há algumas décadas sendo fabricadas e utilizadas continuamente até então. A introdução ou revisão dos padrões internacionais e nacionais de projeto de válvulas ao longo dos anos resultaram em muitas melhorias de projetos importantes, o que, em alguns casos, diminuiu diversos potenciais de riscos à segurança nas aplicações. Porém, mesmo com diversas melhorias, tratando-se de válvulas industriais do tipo esfera com sedes resilientes, os maiores e mais decorrentes problemas encontrados, mesmo em projetos considerados de boa qualidade e aprovados em testes no fabricante, é a presença de vazamento entre a sede e a esfera durante a aplicação (CHURM, 2008).

O sistema composto por sede de material resiliente em contato com a esfera se mostra o ponto mais crítico da válvula. As válvulas são projetadas, testadas e aprovadas em fábrica para atingirem o nível de sem vazamento visível (SVV). Porém, em algumas aplicações, ocorre a presença de vazamento em curto período de uso (MATHIAS, 2008).

- a) Os defeitos mais comuns em sedes resilientes fabricadas em material polimérico a base de politetrafluoretileno (PTFE) e com adição de cargas para reforço das propriedades mecânicas como o (RPTFE), são apresentados na Figura 5 e explicados nos itens seguintes (Flowserve, 2003). Sólidos em suspensão ou partículas abrasivas no fluido os quais provocam sulcos nas sedes ou podem se alojar no material polimérico da sede gerando danos à esfera e conseqüentemente vazamento;
- b) O uso em aplicações em temperaturas elevadas, onde ocorre a diminuição de resistência mecânica da vedação, gerando deformações plásticas anormais resultando em vazamento;
- c) Danos na sede no local onde inicia a abertura da válvula. Local onde ocorre a descarga do fluido em alta velocidade no momento da abertura e despressurização a montante para a jusante. Ocorrem erosão e deformação permanente localizada na banda de vedação da sede.

Outros casos de vazamentos também são relatados quando estas válvulas trabalham em temperaturas negativas. Estes casos são verificados em aplicações criogênicas, onde as

sedes se contraem e se enrijecem, diminuindo sua capacidade de se conformar à rugosidade da esfera e dificultando a estanqueidade total do fluido (MS SSP 134, 2012).

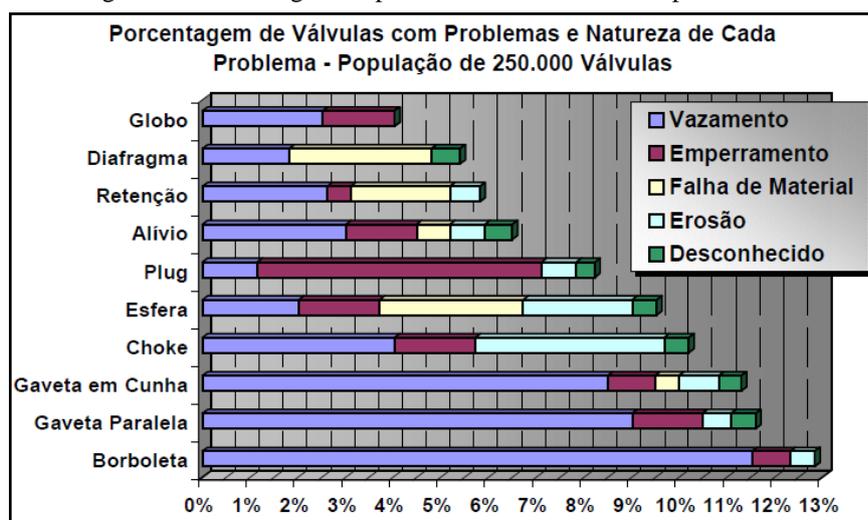
Figura 5 – Defeitos em sedes resilientes de válvulas do tipo esfera.



Fonte: Adaptado de (Flowsolve, 2003).

Segundo Ouchet (1993 apud Euthymíou, 2013)¹, uma pesquisa realizada no Reino Unido, incluindo diversas empresas petrolíferas indicou que 10% de aproximadamente 250.000 válvulas analisadas apresentaram problemas em operação. A Figura 6, apresenta os defeitos relacionados a cada tipo de válvula. Para este estudo o vazamento foi o maior problema encontrado para válvulas de bloqueio, sendo as do tipo gaveta e esfera com a maior porcentagem deste incidente, conforme apresenta a Tabela 2.

Figura 6 – Porcentagem de problemas relacionado ao tipo de válvula.



Fonte: OUCHET (1993 apud Euthymíou, 2013)¹.

¹OUCHET, L., *Reliability Modeling of Subsea Gate Valves*. Tese de M.Sc., Cranfield Institute of Technology, Reino Unido, 1993. apud EUTHYMÍOU.

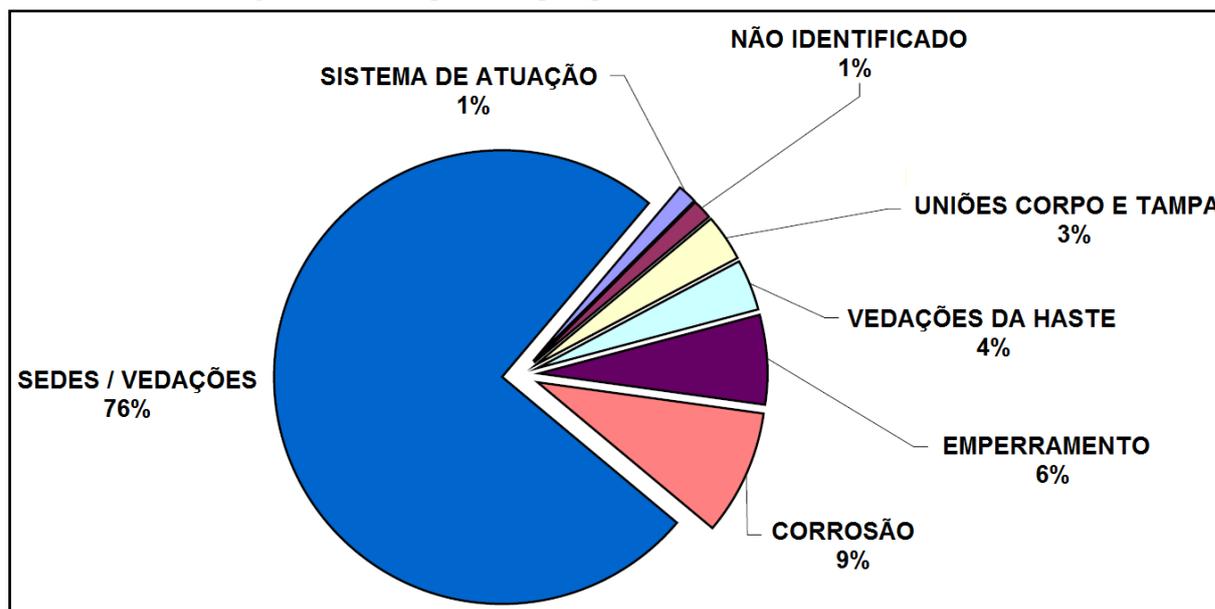
Tabela 2 – Resultados da Pesquisa com cerca de 250.000 Válvulas.

Tipo de Válvula	Representação dentro da População Pesquisada	Proporção deste Tipo de Válvula com Problemas
Gaveta tipo Cunha	50%	10%
Esfera	23%	9%
Segurança	9%	6,5%
Globo	7%	3,5%
Retenção	6%	6,3%
Gaveta Paralela	5%	10,8%

Fonte: OUCHET (1993 *apud* Euthymíou, 2013)¹

Um estudo realizado pela Health and Safety Executive (2003), no Reino Unido, em 1764 válvulas que falharam em operação em aplicações no setor de óleo e gás *offshore*, indicou que 76% das causas das falhas primárias em válvulas de bloqueio, estavam relacionadas a problemas nas vedações das sedes, seguido de 9% relacionados à corrosão, 6% a problemas de emperramento, 4% a problemas nas vedações da haste, 3% a falhas na união do corpo com a tampa, 1% relacionados a falhas no sistema de atuação e em 1% não foram identificadas as causas específicas, conforme Figura 7.

Figura 7 – Causas primárias para problemas encontrados em válvulas.



Fonte: Adaptado de Health and Safety Executive (2003),

Portanto, torna-se relevante os estudos abordados neste trabalho quanto ao funcionamento e resistências das sedes das válvulas do tipo esfera *trunnion*.

¹OUCHET, L., **Reliability Modeling of Subsea Gate Valves**. Tese de M.Sc., Cranfield Institute of Technology, Reino Unido, 1993. *apud* EUTHYMIÓU.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia apresentada neste trabalho consiste em seis etapas:

- 1) Seleção dos protótipos a serem ensaiados;
- 2) Realização dos cálculos de torque nominal de operação (TNO) e pressão de contato entre a sede e a esfera;
- 3) Definição dos parâmetros dos ensaios;
- 4) Instrumentação dos protótipos para realização dos ensaios;
- 5) Monitoramento, aquisição e análise de dados;
- 6) Inspeção nos componentes das válvulas antes e após os ensaios.

3.1 SELEÇÃO DOS PROTÓTIPOS

As válvulas protótipos escolhidas possuem a configuração de *Emergency Shut Down Valve* (ESDV) e *Fail Safe Close* (FSC), as quais são utilizadas em aplicações críticas na indústria petroquímica. Foi segregado válvulas de diâmetro e classe de pressão consideradas intermediárias, bitola NPS 3” e classe de pressão 600. A Tabela 3 apresenta os dados dos protótipos.

Tabela 3 – Dados dos protótipos.

Válvulas protótipos	Válvula do tipo esfera <i>trunnion</i> NPS 3” - Classe de pressão CL600 - Sistema de sedes tipo simples pistão efeito. Construção: API 6D (2014), ASME 16.34 (2017), ABNT NBR 15827 (2018).
Sistema de acionamento das válvulas	Atuador hidráulico do tipo <i>Scotch Yoke</i> , assimétrico, retorno mola, configuração de falha normal fechado (<i>fail safe close</i>). Construção: API 6DX (2012)
Material do corpo da válvula	ASTM A 216 GR WCB (2018)
Material dos componentes internos	ASTM A 217 GR CA15 (2020)
Material das sedes	Teflon TM PTFE 2891 A (2013) - (PTFE + 23% Carbono + 2% de grafite)
Sistema de acionamento	Atuador hidráulico retorno por mola do tipo <i>Scotch Youke</i> assimétrico padrão, API 6DX (2012). Na falha de suprimento hidráulico a mola fecha a válvula. Característica de válvula de segurança.

Fonte: Autor (2020).

Uma referência para escolha do protótipo é a norma ABNT NBR 15827 (2018). Esta norma seleciona tamanhos de válvulas intermediários para a realização de homologação de produto que, por consequência, abrange por extensão, projetos de tamanhos variados de mesmo aspecto construtivo. Desta forma, uma bitola e classe de pressão que possui relevância é a NPS 3” e classe de pressão CL600. Na Tabela 4, apresenta-se a faixa de abrangências de

homologação de válvulas com relação ao tamanho e classe. Verifica-se que a válvula protótipo NPS 3" CL600 representa uma família de 12 válvulas.

Tabela 4 – Faixa de abrangência do protótipo por diâmetro e classe de pressão.

Tamanho	Classe de Pressão 150	Classe de pressão 300	Classe de pressão 600
NPS 2"	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão
NPS 3"	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão	Protótipo Mandatório
NPS 4"	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão
NPS 6"	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão	Homologado por Extensão

Fonte: Adaptado de (ABNT NBR 15827, 2018).

O desenho de conjunto do projeto dos protótipos das válvulas NPS 3" CL600 é apresentado no (ANEXO A). São apresentados detalhes, tais como: materiais dos componentes, medidas externas e posição de montagem do atuador hidráulico.

3.2 DETERMINAÇÃO DO TORQUE NOMINAL DE OPERAÇÃO (TNO)

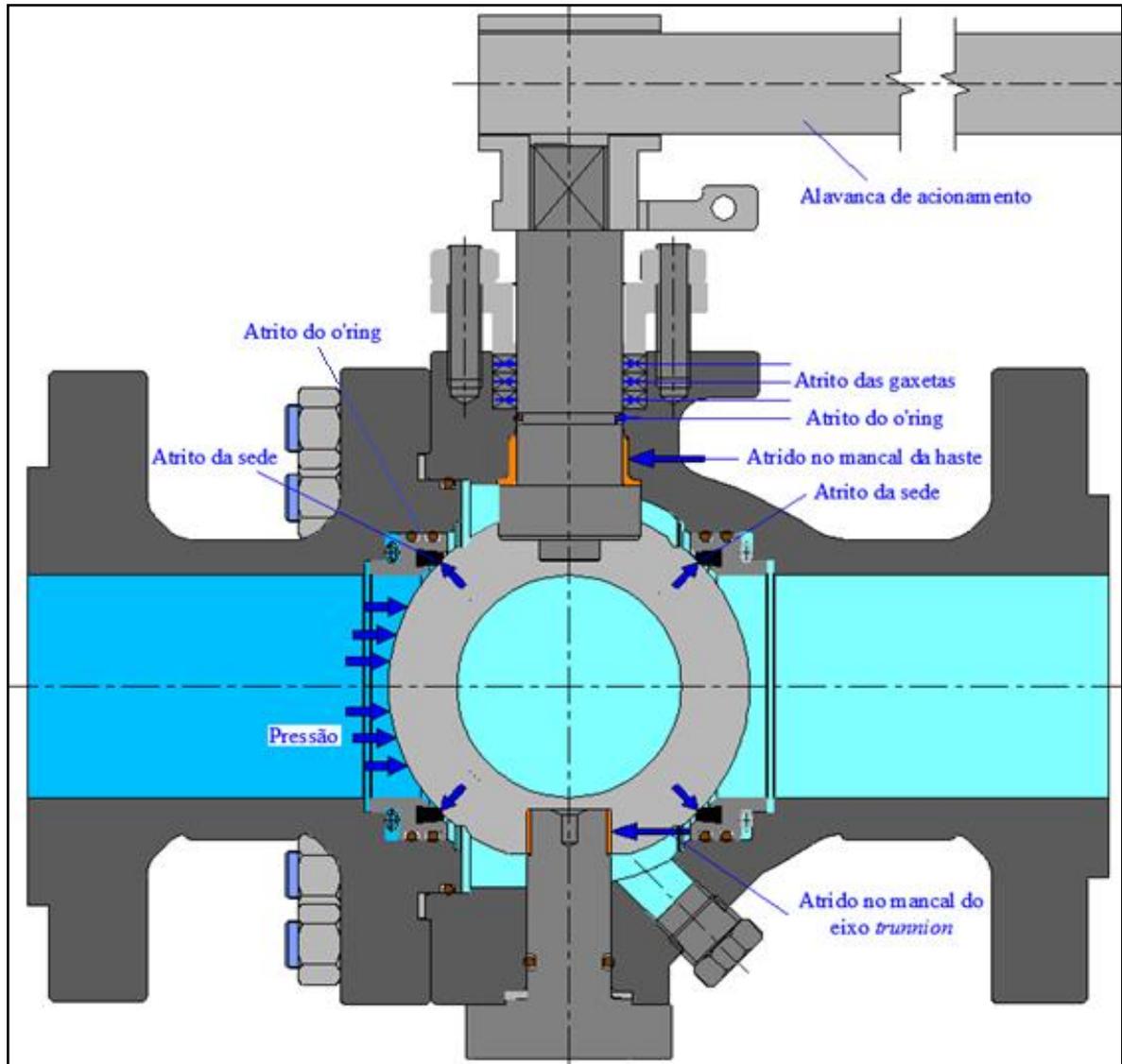
O torque nominal de operação (TNO) pode ser determinado por meio de cálculos analíticos. O torque, por definição, é o resultado do produto de uma força aplicada e a distância do centro de giro. Para o acionamento de uma válvula do tipo esfera manual, por exemplo, ao movimentar-se a alavanca de acionamento para efetuar o movimento de abertura ou fechamento da válvula, pode-se perceber certa força de restrição. Esta, é inerente à força normal nas superfícies de contato entre as sedes e a esfera, conforme a pressão diferencial na qual a válvula está sendo submetida e as forças adicionais com relação aos atritos entre os componentes internos da válvula, tais como, mancais autolubrificantes e vedações da haste (HALLIDAY, et al., 2002) (COSTA, 2009).

A Figura 8 representa as regiões de atrito entre os componentes da válvula do tipo esfera *trunnion* NPS 3" CL600 durante o acionamento.

Após a localização das regiões de atrito pode-se, então, elaborar um diagrama de corpo livre com a representação dos locais de atrito e medidas necessárias para a realização dos cálculos de forças atuantes e posteriormente dos torques presentes no conjunto.

O método de cálculo de torque nominal de operação (TNO) está relacionado às condições da válvula operando no delta de pressão máximo entre a montante e a jusante e na condição de temperatura ambiente. Desta forma, torna-se possível estimar um valor aproximado ao torque real de operação (TRO), devido às simplificações que a metodologia de cálculos apresenta.

Figura 8 – Representação das regiões de atrito da válvula durante o acionamento.



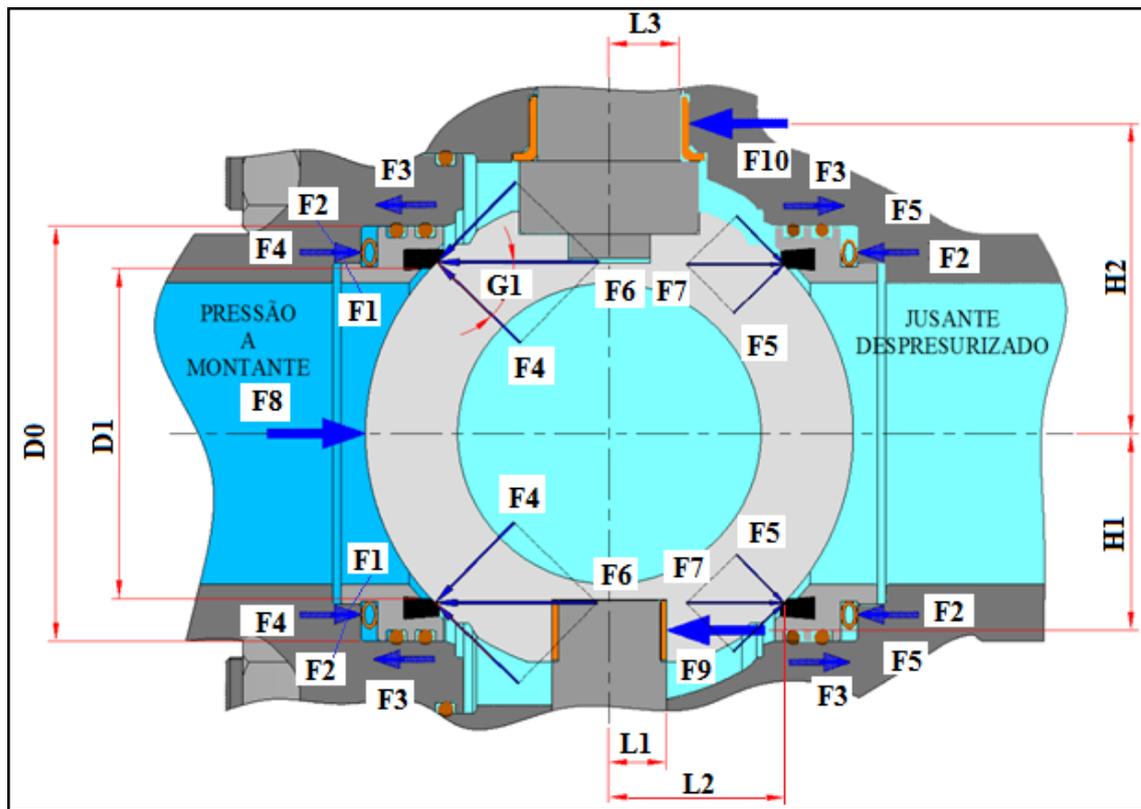
Fonte: Autor (2020).

3.2.1 Determinação das forças atuantes

A Figura 9 apresenta o esboço do diagrama de corpo livre dos principais esforços atuantes relacionados à determinação do torque (TNO) da válvula. As condições representadas são de pressão a montante (PMT), enquanto a jusante se mantém despressurizada.

Para os cálculos das forças atuantes durante o acionamento da válvula, utilizam-se as equações de (1) a (9) apresentadas a seguir.

Figura 9 – Diagrama de corpo livre dos esforços com a pressão a montante.



Fonte: Autor (2020).

Inicialmente, determina-se a área de atuação da pressão sobre o anel porta sede através da Equação (1).

$$A_1 = \frac{(D_0^2 - D_1^2) \times \pi}{4} \quad (1)$$

Após o cálculo da área A_1 e conhecendo a pressão empregada no anel, no caso a (PMT), é possível calcular a força atuante no anel da sede a montante em função da pressão através da Equação (2).

$$F_1 = A_1 \times PMT \quad (2)$$

Para encontrar a força resultante sobre o anel a montante, deve-se somar a força exercida pela mola F_2 na compressão de projeto com a força F_1 e diminuir a força de atrito da vedação *O'ring* do anel porta sede F_3 , conforme Equação (3).

$$F_4 = F_1 + F_2 - F_3 \quad (3)$$

Para encontrar a força sobre o anel a jusante deve-se diminuir a força da mola F_2 da força de atrito da vedação *O'ring* do anel porta sede F_{3s} na condição sem pressão, conforme Equação (4).

$$F_5 = F_2 - F_{3s} \quad (4)$$

Os limites de contato entre a sede e esfera geram, por aproximação, um ângulo G_1 determinado durante a elaboração do projeto. Com o conhecimento deste ângulo, pode-se determinar a força que age perpendicularmente ao contato da sede com a esfera através da Equação (5) para a vedação a montante.

$$F_6 = F_4 \times \cos G_1 \quad (5)$$

As forças exercidas no lado a jusante são obtidas da mesma forma, porém, sem considerar a força com relação à pressão, somente a força da mola subtraindo a força das vedações do anel porta sede, conforme Equação (6).

$$F_7 = F_5 \times \cos G_1 \quad (6)$$

Para encontrar a força resultante F_8 na esfera, da direção a montante para a jusante utiliza-se a Equação (7).

$$F_8 = \left(PMT \times \frac{D_1^2 \times \pi}{4} \right) + F_4 - F_5 \quad (7)$$

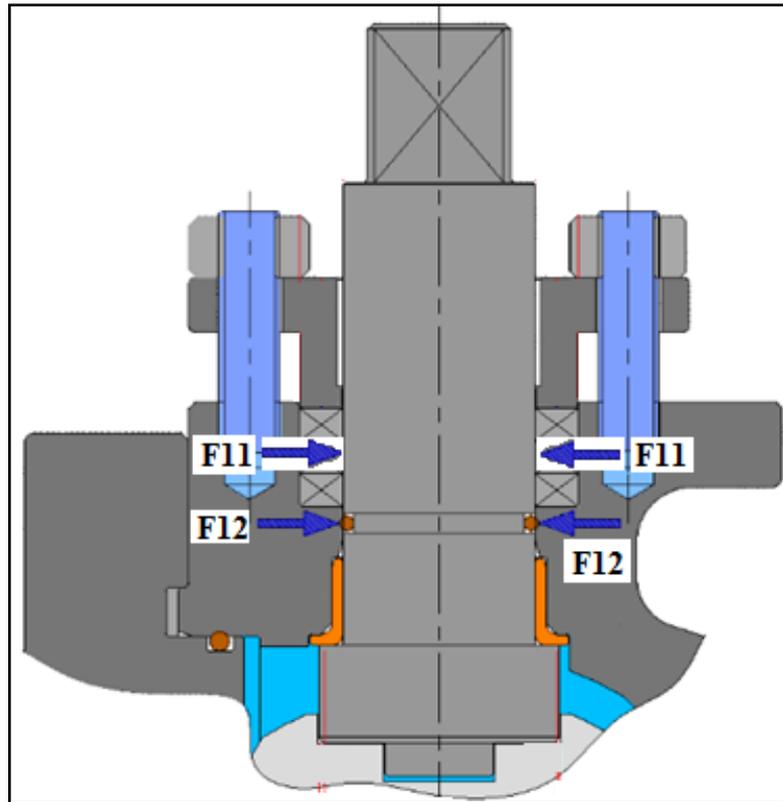
Desta forma, é possível calcular as forças de reação nos mancais do eixo *trunnion* e da haste, conforme Equações (8) e (9) respectivamente.

$$F_9 = F_8 \times \frac{H_2}{H_1 + H_2} \quad (8)$$

$$F_{10} = F_8 \times \frac{H_1}{H_1 + H_2} \quad (9)$$

Por fim, tem-se a força de atrito do *O'ring* instalado na haste denominada de F_{11} e a força em função do atrito das gaxetas da haste denominada F_{12} , conforme representado na Figura 10. Para se alcançar estes valores com maior precisão, pode-se utilizar testes práticos de torque de acionamento, após a montagem da válvula ou em dispositivo que simula as dimensões da válvula na região da caixa de gaxetas.

Figura 10 – Diagrama de corpo livre dos esforços na haste.



Fonte: Autor (2020).

3.2.2 Determinação dos torques atuantes

Após a definição das forças atuantes no sistema de acionamento da válvula, realizam-se os cálculos dos torques em função das distâncias do centro da válvula até o ponto de atuação da força. A Figura 9 apresenta as distâncias necessárias para o cálculo dos torques. Devem-se considerar também os coeficientes de atrito para cada etapa dos torques calculados.

Para os cálculos dos torques atuantes durante o acionamento da válvula, utilizam-se as equações de (10) a (14) apresentadas a seguir.

Inicialmente, calculam-se os torques com relação ao contato entre sede esfera a montante, conforme a Equação 10 e a jusante, conforme Equação 11. O μ_1 é o coeficiente de atrito entre o material RPTFE da sede com o aço da esfera.

$$T_1 = F_6 \mu_1 L_2 \quad (10)$$

$$T_2 = F_7 \mu_1 L_2 \quad (11)$$

Após, calcula-se os torques com relação aos mancais autolubrificantes do eixo *trunnion* e da haste, conformes as Equações 12 e 13. O μ_2 é o coeficiente de atrito entre o mancal autolubrificante e o material do eixo *trunnion* e da haste.

$$T_3 = F_9 \mu_2 L_1 \quad (12)$$

$$T_4 = F_{10} \mu_2 L_3 \quad (13)$$

Obtêm-se os valores de torques com relação às vedações tais como *O'ring* e gaxetas que estão em contato com a haste T_g e T_5 através de testes práticos.

Com os resultados dos cálculos de todos os torques atuante no sistema, realiza-se o cálculo do TNO através do somatório dos mesmos, conforme a Equação 14.

$$TNO = -T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_g \quad (14)$$

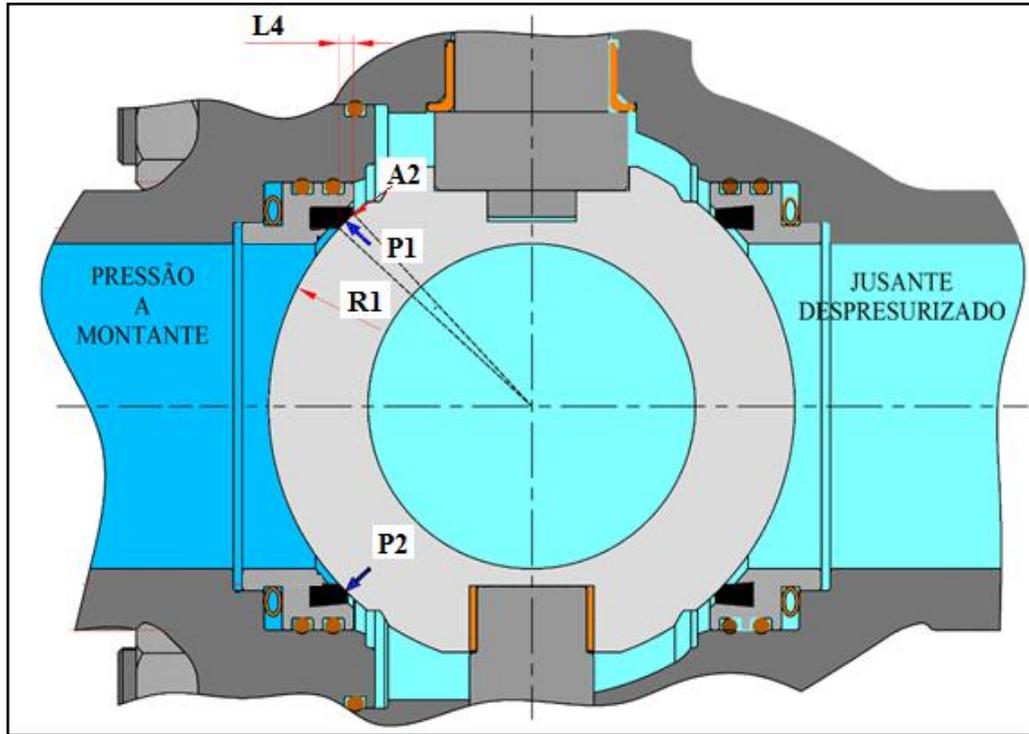
Portanto, o TNO é o torque calculado estimado a ser empregado na haste para realizar o acionamento de abertura da válvula estando esta pressurizada com a (PMT) no lado a montante e com a jusante despressurizada.

3.2.3 Determinação da pressão de contato entre sede e esfera

Para o cálculo da pressão de contato entre a sede e a esfera, utilizam-se as equações de (15) a (17).

Primeiramente calcula-se a área de contato entre estes componentes através da Equação 15. Para este cálculo é necessário conhecer o raio da esfera R_1 e a distância entre as extremidades da sede em contato com a esfera L_4 , conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Esboço do contato entre a sede a esfera.



Fonte: Autor (2020).

$$A_2 = 2 \pi R_1 L_4 \quad (15)$$

Após descobrir o valor da área, calcula-se a pressão de contato entre a sede e a esfera a (PMT) e a baixa pressão (BP), conforme as Equações 16 e 17.

$$P_1 = \frac{F_4}{A_2} \quad (16)$$

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2} + \frac{(BP \times A_1)}{A_2} \quad (17)$$

A pressão de contato deve ser maior que a pressão do fluido na qual a válvula irá trabalhar para que ocorra a estanqueidade do mesmo.

3.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DOS ENSAIOS

Após a fabricação dos protótipos em conformidade com as diretrizes de projetos realizam-se os testes de acordo com os padrões normativos API 598 (2016) e ISO 5208 (2015). Estes testes também são conhecidos como testes de aceitação em fábrica e são realizados em todas as válvulas industriais produzidas antes do envio ao cliente final. Os testes contemplam: ensaio hidrostático no corpo com pressão 1,5 vezes a (PMT), ensaio hidrostáticos nas sedes com pressão 1,1 vezes a (PMT), ensaios pneumáticos nas sedes com pressão de 6 bar e ensaios de alívio de pressão na cavidade. Todos realizados a temperatura ambiente.

Após os protótipos serem aprovados nesta etapa, os mesmos são utilizados nos ensaios cíclicos. Este trabalho aborda a realização dos ensaios em protótipos após os mesmos serem aprovados em testes de aceitação em fábrica.

Os ensaios cíclicos são realizados com a abertura e fechamento da válvula com tomadas de pressão máxima de trabalho (PMT), de acordo com a temperatura de cada ensaio.

Durante os ensaios cíclicos são coletados dados de posição angular da esfera, pressão a montante, pressão a jusante, torque na haste da válvula, temperaturas e pressão do fluido hidráulico do atuador. Estes dados são plotados na forma de gráficos com relação ao tempo, gerando as denominadas assinaturas das válvulas. Estas assinaturas geradas são monitoradas a cada ciclo e representam o comportamento das válvulas de acordo com as condições de operação.

As temperaturas escolhidas para os ensaios cíclicos são: -18 °C, 20 °C e 120 °C, sendo o fluido de teste ar comprimido para as temperaturas extremas e água com inibidor de corrosão para ensaios na temperatura ambiente. Estas considerações são requisitos da norma ABNT NBR 15827 (2018), para válvulas com vedações resilientes à base de PTFE, RPTFE ou Poliamida.

A norma ABNT NBR 15827 (2014), apresenta o número de 2000 ciclos para ensaio de homologação de válvulas do tipo esfera. Estes ciclos podem ser distribuídos em até 4 protótipos realizando, no mínimo, 500 ciclos em cada. Esta validação proporciona confiabilidade de 98% de vida útil em uma estimativa de uso de 10 anos, estando à válvula operando em temperatura ambiente. A partir desta referência, foi escolhida a realização de, no mínimo, 2000 ciclos por protótipo nos ensaios em temperatura ambiente.

Quanto ao número de ciclos nas temperaturas: mínima e máxima, a norma (ABNT NBR 15827, 2018) estipula a realização de 20 ciclos nestas condições. A norma também

menciona que um número maior de ciclos pode ser realizado para análises e estudos, extrapolando os valores previstos. Desta forma, optou-se por realizar no mínimo 80% acima dos ciclos previstos, ou seja, no mínimo 160 ciclos em cada protótipo em temperaturas extremas.

A Tabela 5 apresenta os dados utilizados para os ensaios de protótipo quanto à temperatura, número de ciclos, fluido de teste e pressão aplicada.

Tabela 5 – Dados para a realização dos ensaios cíclicos.

Protótipo	Temperatura ABNT NBR 15827 (2018)	Número mínimo de ciclos realizados	Fluido ABNT NBR 15827 (2018)	Pressão de ensaio CL600 - ASME 16.34 (2017)
01	20 °C	2000 ciclos	Água	102,1 bar
02	20 °C	2000 ciclos	Água	102,1 bar
03	20 °C	2000 ciclos	Água	102,1 bar
04	120 °C	160 ciclos	Ar comprimido	92 bar
05	120 °C	160 ciclos	Ar comprimido	92 bar
06	120 °C	160 ciclos	Ar comprimido	92 bar
07	-18 °C	160 ciclos	Ar comprimido	102,1 bar
08	-18 °C	160 ciclos	Ar comprimido	102,1 bar
09	-18 °C	160 ciclos	Ar comprimido	102,1 bar

Fonte: Autor (2020).

3.4 INSTRUMENTAÇÃO DOS PROTÓTIPOS PARA OS ENSAIOS

Quanto ao aparato de ensaios desenvolvido, a Figura 13 apresenta um diagrama esquemático da estrutura de teste elaborada. Segundo a PORTARIA N.º272 INMETRO (2011), a taxa mínima indicada para aquisição de dados em ensaios cíclicos de válvulas industriais é de pelo menos 2 Hz. Para o presente estudo, a taxa de aquisição utilizada é de 10 Hz.

Com aquisição dos dados provenientes dos ensaios e a sua plotagem de forma gráfica, obtêm-se as assinaturas das válvulas. Estas permitem avaliação do comportamento dos protótipos durante e após a realização dos testes.

Sobre a instrumentação e detalhes dos ensaios, utiliza-se o diagrama da Figura 13 para a explanação. Os ensaios utilizam fluidos de teste tais como: água com inibidor de corrosão e ar comprimido, sendo estes uma indicação da norma ABNT NBR 15827 (2018).

Inicialmente, o fluido de teste, água com inibidor de corrosão, encontra-se no painel de controle de pressão (P1) no componente tanque (CP1). O fluido de teste é bombeado pelo equipamento (CP2), uma bomba hidráulica modelo DSF-35 Haskel[®]. Na linha (L1), o fluido passa pelo manômetro (CP3) e pelo dispositivo de regulagem de pressão de teste (CP4). Após,

tem-se uma válvula esfera NPS ½” CL800 (CP5), seguido do componente (CP6), que é um transdutor de pressão modelo MBS 1750 Danfoss®. Após, o fluido passa por manômetro (CP7) seguindo para a montante da válvula protótipo do tipo esfera *trunnion* NPS 3” CL600, componente (CP8) fabricante Micromazza®. A jusante da válvula contém um transdutor de pressão (CP9) modelo MBS 1750 Danfoss® e uma válvula do tipo esfera NPS ½” CL800 (CP10) equipada com atuador pneumático com retorno por mola (CP11). O fluido de teste segue pela linha (L1) até a válvula esfera NPS ½” CL800 (CP13) onde retorna para o tanque (CP1). Para ensaio com água, a válvula esfera NPS ½” CL800 (CP12) permanece fechada.

Para a realização dos testes pneumáticos de vedação da sede, utiliza-se o compressor de ar a alta pressão, componente (CP14) modelo SV 225/250 fabricante J. A. Becker & Söhne®, com capacidade de até 350 bar. Para este teste, utiliza-se inicialmente a linha (L2), a qual conta com manômetro (CP15) e regulador de pressão de teste (CP16). Para os ensaios com ar comprimido, deve-se esvaziar a tubulação (L1), fechar a válvula (CP5), abrir a válvula (CP17), fechar a válvula (CP13) e abrir a válvula de descarga (CP12). Desta forma, o circuito de teste passa a funcionar com ar comprimido para os testes pneumáticos.

A linha (L3) refere-se ao suprimento de óleo do atuador hidráulico (CP18), modelo WA2C-SE-101-4 fabricante Wenmazza®, na qual possui câmara com êmbolo para a pressurização (CP19) que, conseqüentemente, gera a abertura da válvula. O fechamento da válvula se dá por retorno do fluido ao tanque (CP28), através de extensão da mola da câmara do atuador (CP18). O sistema hidráulico de suprimento do atuador é composto por bomba hidráulica (CP27), modelo V10-1B-4B-1B-20 fabricante Vickers®, válvula hidráulica (CP26) modelo DG4V-3-6C-M-U-H7-60 fabricante Vickers®, manômetro (CP25) e regulador de pressão (CP24). A linha (L3) conta com transdutor de pressão (CP23) modelo MBS 1750 Danfoss® e válvula de regulagem de vazão (CP22) para controlar o avanço e retorno do óleo do atuador controlando, assim, a velocidade de abertura e fechamento da válvula protótipo (CP8).

No eixo superior do atuador (CP18) contém um monitor de posição (CP21) modelo BA3020-0500 fabricante Veeder-Root®. A haste da válvula é equipada com transdutor de torque modelo T40 fabricante HBM®, (CP20).

Para medição de vazamento utiliza-se a linha (L4) a qual é interligada à cavidade interna da válvula. A medição é feita por contagem de bolhas através de tubo de 6 mm de diâmetro externo com parede de 1 mm de espessura, submerso em recipiente com água, componente (CP30), a uma profundidade de 5 mm a 10 mm, de forma perpendicular à superfície da água. Para a medição, deve-se abrir a válvula do tipo agulha (CP29).

Os componentes de maior importância para os ensaios, responsáveis pela leitura dos dados de pressão a montante, pressão a jusante, pressão do atuador hidráulico, torque na haste e temperaturas são apresentados na Tabela 6. Por serem estes os dados analisados no presente estudo, o ANEXO B apresenta seus respectivos certificados de calibração.

Tabela 6 – Dados dos principais componentes utilizados nos ensaios cíclicos.

Componente	Denominação	Nº Identificação / Nº Certificado	Frequência de calibração	Incerteza de medição
CP6	Transdutor de pressão	TP-001/ 165633/18	60 meses	0,35 (bar)
CP9	Transdutor de pressão	TP-002/ 165634/18	60 meses	0,27 (bar)
CP23	Transdutor de pressão	TP-003 / 164462/18	60 meses	0,31 (bar)
CP20	Transdutor de torque	CEG-005 / 153 789-101	60 meses	0,32 (Nm)
T1	Termoresistência PT100	IND 092 / T0291/2016	60 meses	0,04 (°C)
T2	Termoresistência PT100	IND 093 / T0293/2016	60 meses	0,11 (°C)
T3	Termoresistência PT100	IND 094 / T0292/2016	60 meses	0,52 (°C)

Fonte: Autor (2020).

Ao considerar as válvulas instaladas em campo, algumas aplicações são consideradas de alta criticidade. Uma delas é quando a tubulação está pressurizada na capacidade máxima e a válvula realiza o fechamento. Neste caso, quando a válvula estiver na eminência de fechar completamente ocorre à obstrução da comunicação entre a montante e a jusante da válvula. Sendo assim, o fechamento final pode ocorrer com o (ΔP) máximo gerando maiores esforços do sistema de acionamento para efetuar fechamento completo.

Outra situação é quando a válvula se encontra fechada pressurizada na capacidade máxima a montante e com a jusante na pressão mínima. Este (ΔP) máximo, no momento da abertura, gera grandes esforços para o sistema de acionamento da válvula. Outro fator crítico para este caso é a descarga da pressão a montante para a jusante no início da abertura da válvula, na qual o fluido atinge alta velocidade. De acordo com Mathias (2008), no início da abertura da esfera, é gerada uma passagem elíptica reduzida, onde o fluido pode atingir velocidades sônicas durante a descarga da pressão a montante para a jusante da válvula.

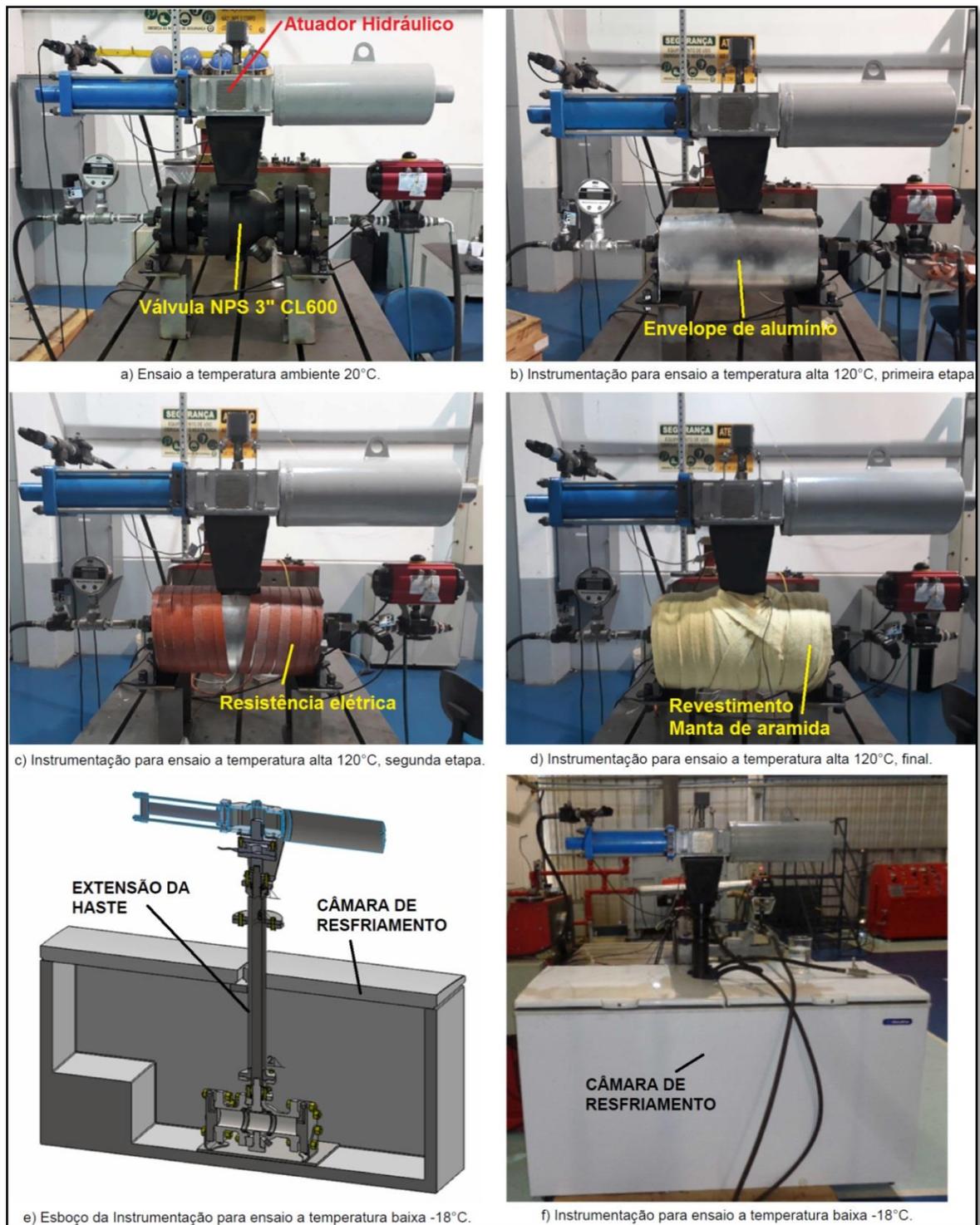
Para as situações mencionadas, outro agravante que pode ser combinado com essas aplicações, são os processos que requerem ou geram altas e/ou baixas temperaturas, podendo isto, ser outro fator relevante quanto à vida útil destes equipamentos, principalmente para os sistemas de vedações. A instrumentação dos protótipos neste estudo foi desenvolvida com o objetivo de simular estes cenários críticos das aplicações.

De acordo com as temperaturas dos testes, os protótipos foram instrumentados com dispositivos específicos para aquecer ou resfriar as válvulas. Para o aquecimento, utilizou-se

resistência elétrica enrolada em um envelope de alumínio, sendo revestida com manta de aramida. Para baixa temperatura, utilizou-se uma câmara de resfriamentos.

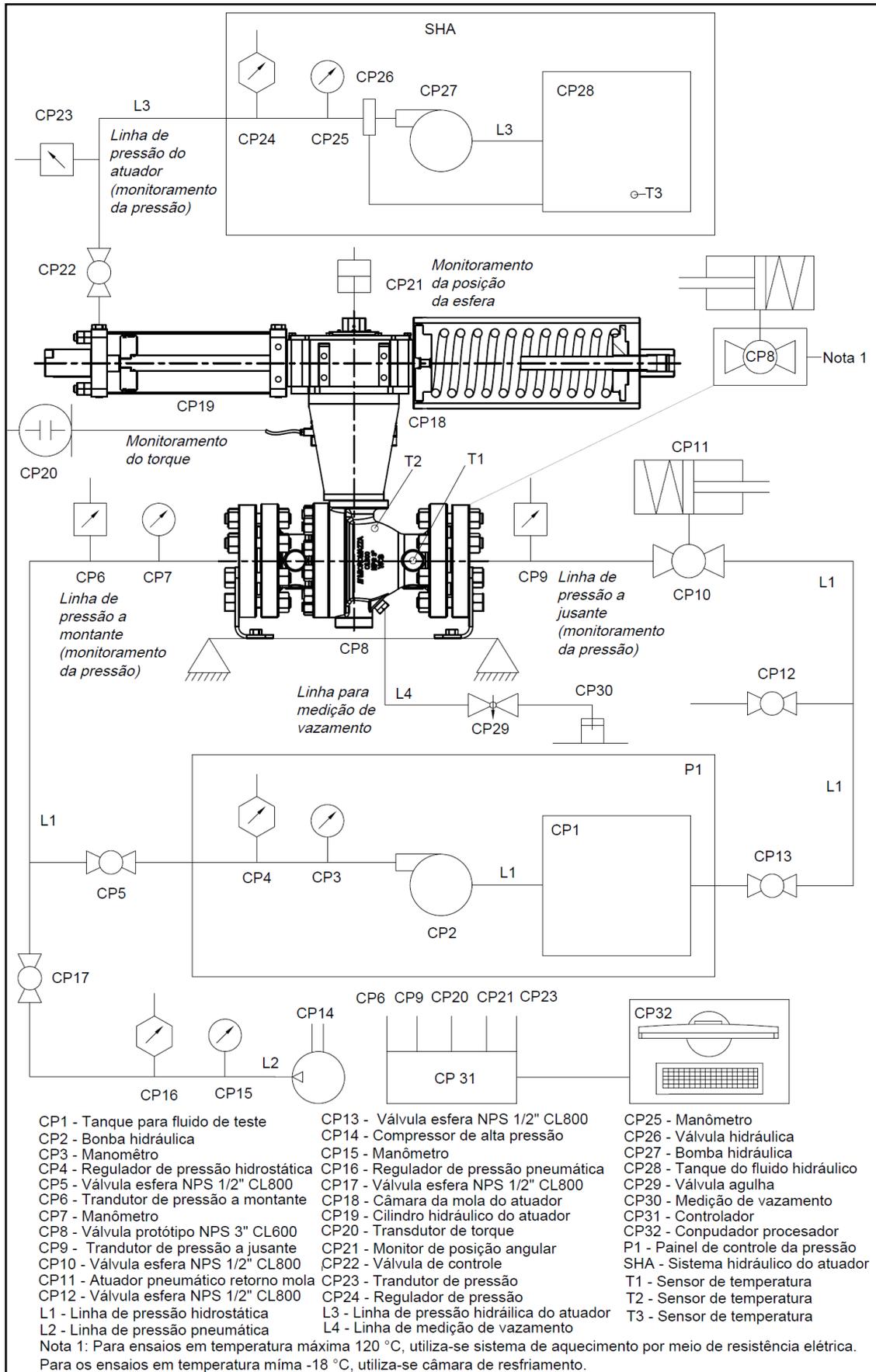
A Figura 12 apresenta fotos das instrumentações dos protótipos de acordo com a temperatura de ensaio.

Figura 12 – Fotos das instrumentações dos protótipos de acordo com a faixa de temperatura do ensaio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 13 – Diagrama esquemático para ensaio de protótipo.



Fonte: Autor (2020).

3.5 MONITORAMENTO, AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Ao longo dos ensaios cíclicos, os dados são coletados e plotados de forma gráfica com relação ao tempo simultaneamente à realização dos testes. Esta primeira análise permite verificar se os ensaios estão transcorrendo corretamente e permite também utilizar este método em auditorias de homologação de válvulas. Neste caso, um auditor terceirizado pode acompanhar os ensaios no momento em que os mesmos ocorrem. Para isso, utilizou-se o software Elipse[®], sendo este um programa de automação industrial utilizado para acompanhamento e aquisição de dados em tempo real.

Após a realização dos ensaios, os dados são analisados utilizando o software Matlab[®]. Por meio desta ferramenta são geradas as assinaturas de torque na haste e de pressão do atuador hidráulico com relação à posição angular da esfera. Destas assinaturas são extraídos os valores dos pontos notáveis, sendo estes os dados analisados. Os mesmos permitem identificar o comportamento da válvula e do atuador ao longo dos testes.

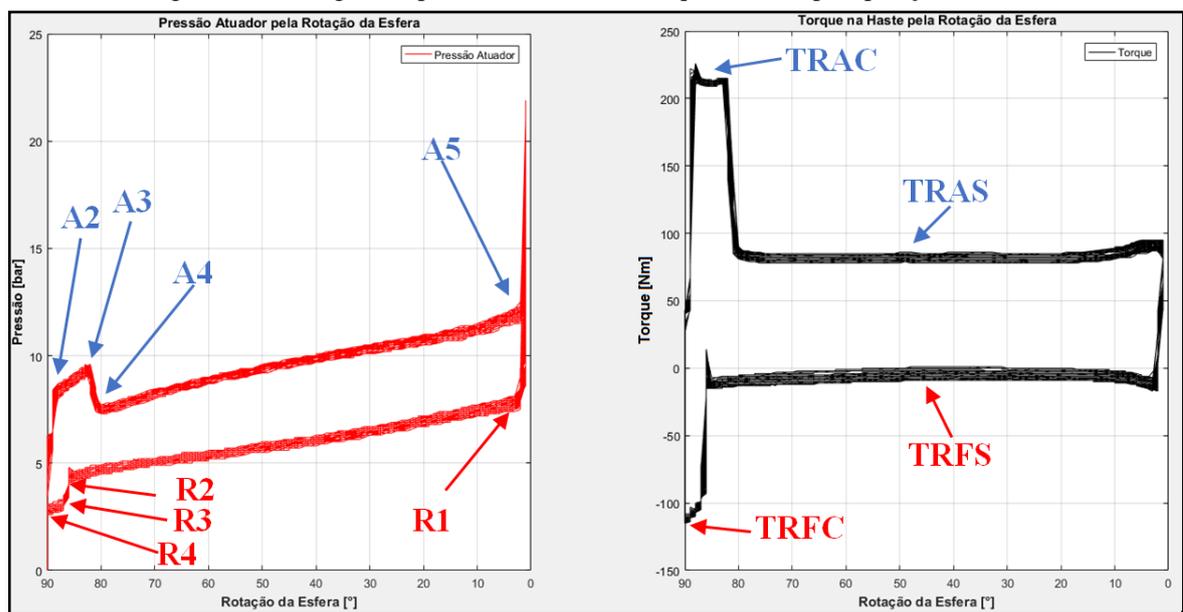
Também são analisados os dados de pressão a montante e a jusante da válvula. Esta análise permite verificar se a capacidade de vedação da válvula é mantida ao longo de todo o ensaio cíclico.

O processo de aquisição e análise apresentado neste trabalho consiste nas seguintes etapas:

- 1) Aquisição de dados por meio do *software* Elipse[®];
- 2) Plotagem dos dados por meio do *software* Elipse[®], para monitoramento do ensaio em tempo real;
- 3) Transferência dos dados coletados pelo *software* Elipse[®] para uma tabela no *software* Excel;
- 4) Exportação dos dados do *software* Excel[®] para o *software* Matlab[®];
- 5) Plotagem dos dados de pressão e torque com relação à posição da esfera utilizando *software* Matlab[®];
- 6) Definição dos pontos notáveis das assinaturas de pressão e torque e plotagem de forma gráfica com relação à quantidade de ciclos efetuados nos ensaios;
- 7) Plotagem dos dados de pressão a montante e a jusante da válvula para verificação de possíveis vazamentos nas sedes;
- 8) Plotagem das assinaturas de pressão do atuador e torque: inicial e final de forma sobreposta;

A Figura 14 apresenta um exemplo de plotagem das assinaturas de pressão do atuador hidráulico e assinaturas de torque na haste com relação à posição angular da esfera durante a abertura e o fechamento. Para 90° , considera-se válvula totalmente fechada e 0° , totalmente aberta. Por convenção, os torques de abertura possuem valores positivos e para o fechamento, valores negativos. Nesta plotagem torna-se possível verificar as regiões de transições nas assinaturas e permite definir e extrair os pontos notáveis que serão utilizados para as análises posteriores.

Figura 14 – Plotagem da pressão do atuador e torque na haste pela posição da esfera.



Fonte: Autor (2020).

Para a pressão do atuador hidráulico, 4 pontos notáveis para o avanço do cilindro do atuador, responsável pela abertura da válvula foram selecionados. E 4 pontos notáveis referentes ao retorno do cilindro para a posição de origem, onde é efetuado fechamento da válvula por meio de extensão da mola do atuador também foram selecionados.

Para o torque na haste, 4 pontos notáveis foram selecionados para análise, sendo dois para o processo de abertura: (TRAC) e (TRAS), e dois para o fechamento: (TRFC) e (TRFS).

Estes dados são coletados em todos os ciclos realizados em cada ensaio dos protótipos e posteriormente são plotados de forma gráfica, individualmente, com relação ao número de ciclos realizados.

Desta forma, pode-se analisar o comportamento dos protótipos em cada uma das condições empregadas, verificando-se a presença de possíveis falhas em operação da válvula e do atuador.

A seguir são descritas as definições dos pontos notáveis apresentados na Figura 14.

- a) A2 – Pressão de avanço do cilindro hidráulico do atuador no início do movimento da esfera;
- b) A3 – Pressão de avanço do cilindro hidráulico do atuador no início da descarga da pressão a montante para a jusante;
- c) A4 – Pressão de avanço do cilindro hidráulico do atuador após a descarga da pressão a montante para a jusante;
- d) A5 – Pressão de avanço do cilindro hidráulico do atuador após a abertura completa da válvula;
- e) R1 – Pressão de retorno do cilindro hidráulico do atuador no início do movimento de fechamento da válvula;
- f) R2 – Pressão de retorno do cilindro hidráulico do atuador no momento em que o giro da esfera, durante o fechamento atinge o ângulo que cessa a comunicação da pressão a montante com a jusante. Neste momento ocorre a descarga da pressão a jusante.
- g) R3 – Pressão de retorno do cilindro hidráulico do atuador no momento em que o fechamento ocorre com a pressão máxima diferencial entre a montante e a jusante.
- h) R4 – Pressão de retorno do cilindro hidráulico do atuador no final do processo de fechamento. Essa é a posição de repouso do atuador hidráulico. A mola encontra-se em sua extensão máxima na câmara do atuador. Neste ponto tem-se a menor pressão medida. A baixa pressão encontrada é proveniente da carga residual da mola e do sistema hidráulico em modo ativado.
- i) TRAC – Torque real de abertura com diferencial de pressão. É o maior torque encontrado em válvulas do tipo esfera. Localiza-se nos primeiros graus do ângulo de abertura da válvula.
- j) TRAS – Torque real de abertura sem diferencial de pressão. É o torque encontrado durante o curso de abertura da válvula após a descarga da pressão. Para este estudo a localização utilizada para este ponto é de 45° do ângulo de abertura da válvula;
- k) TRFC – Torque real de fechamento com diferencial de pressão. É o maior torque encontrado durante o fechamento da válvula. Localiza-se nos últimos graus do ângulo de fechamento da válvula.
- l) TRFS – Torque real de fechamento sem diferencial de pressão. É o torque encontrado durante o curso de fechamento da válvula sem o diferencial de pressão entre a montante e a jusante. Para este estudo a localização utilizada para este ponto é de 45° do ângulo de fechamento da válvula;

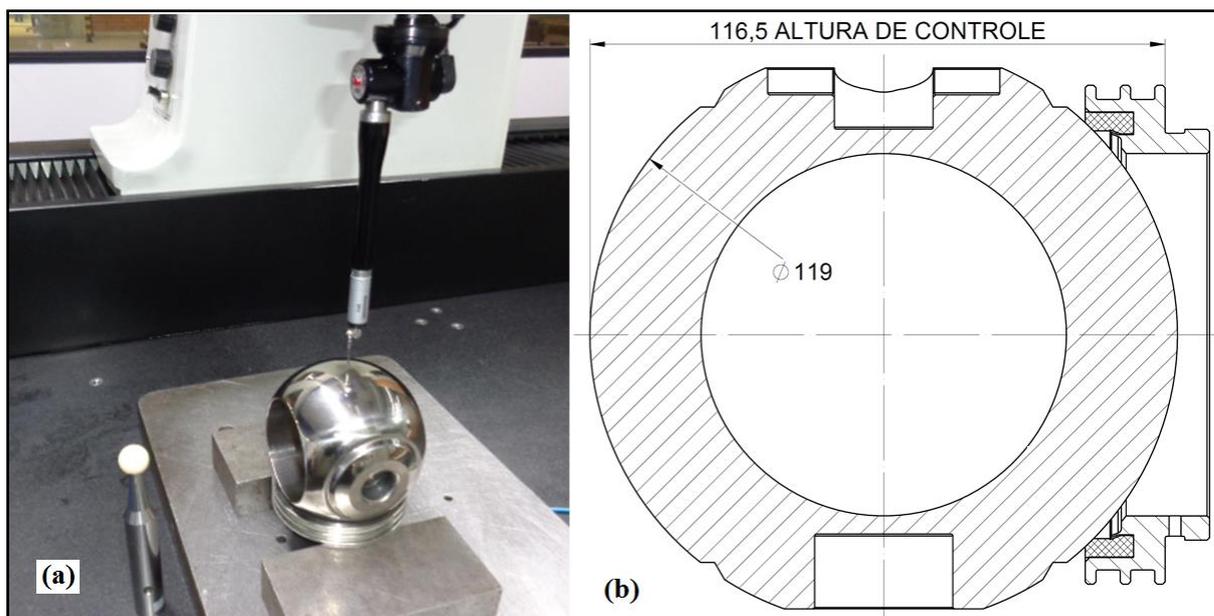
3.6 INSPEÇÃO DOS COMPONENTES APÓS OS ENSAIOS

Após a realização dos ensaios, os protótipos são desmontados e são realizadas as inspeções visuais e dimensionais.

Por se tratar de material polimérico, as sedes das válvulas são as peças que tendem a apresentar maiores deformações. A forma de avaliar este tipo de deformação adotada neste trabalho é por meio de inspeção dimensional da cota denominada de altura de controle, conforme apresentado na Figura 15. Esta inspeção permite comparar o quanto as sedes se deformaram após os ensaios.

Para as medições das alturas de controle utilizou-se, neste trabalho, o equipamento denominado de Máquina de Medições por Coordenadas, modelo CRT-PM7106, fabricante Renishaw[®]. O certificado de calibração deste equipamento é apresentado na Figura B16 do (ANEXO B).

Figura 15 – a) Processo de medição, b) Desenho em corte da esfera em contato com o anel da sede.



Fonte: Autor (2020).

As demais peças dos protótipos também são inspecionadas quanto ao dimensional e visual antes e após os ensaios. Porém, as condições impostas nos ensaios realizados não tendem a apresentar danos nos componentes metálicos da válvula. Portanto, neste trabalho, são enfatizados os resultados dimensionais que ocorrem nas vedações denominadas sedes produzidas no material polimérico (RPTFE).

4 RESULTADOS

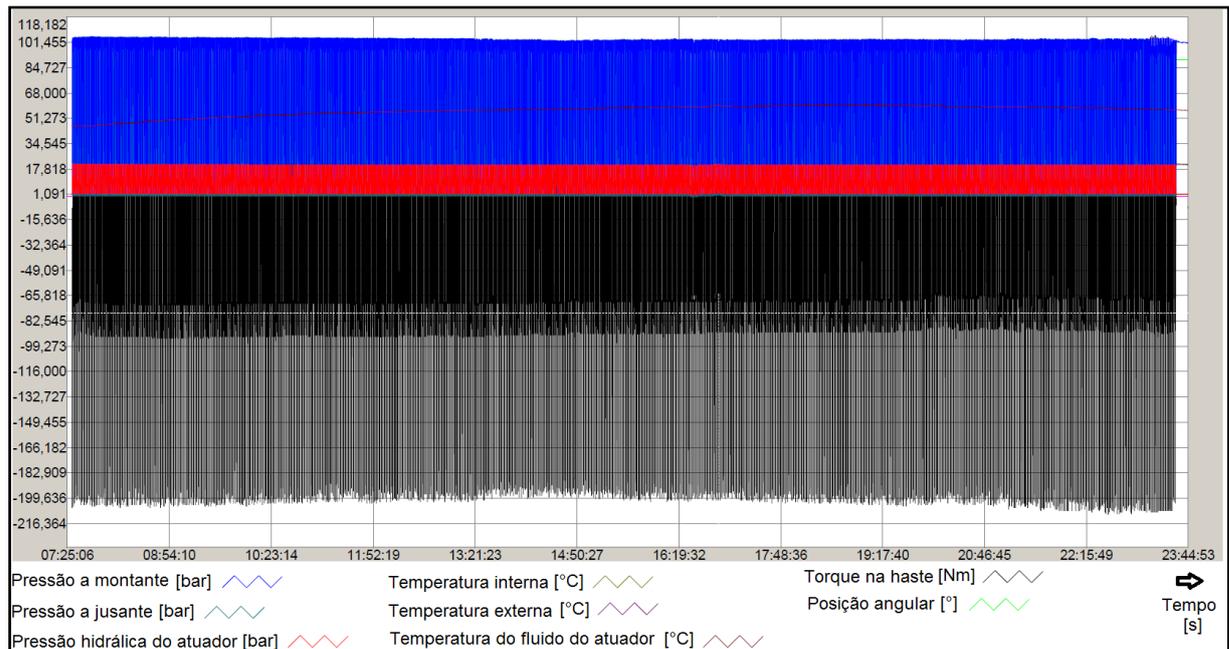
4.1 CÁLCULOS ANALÍTICOS

Quanto aos cálculos abordados neste trabalho, os mesmos são apresentados no (APÊNDICE A). Verifica-se que o torque nominal de operação (TNO) calculado para a abertura da válvula protótipo na condição de pressão máxima de trabalho (PMT) e na temperatura ambiente é de 214 Nm. Quanto à pressão de contato entre a sede e a esfera, verifica-se o valor de 4,58 vezes a (PMT) e 9,53 vezes para a condição (BP).

4.2 ENSAIOS EM TEMPERATURA AMBIENTE

Em temperatura ambiente foram ensaiados 3 protótipos com realização de mais de 2000 ciclos em cada válvula. Ao longo dos ensaios cíclicos os dados foram coletados e monitorados em tempo real através de gráficos gerados pelo software Elipse[®]. Este acompanhamento em tempo real permite verificar a estabilidade dos dados e se o ensaio está ocorrendo de forma adequada. A Figura 16 apresenta os gráficos referentes aos dados brutos para os primeiros 1000 ciclos realizados no protótipo 1. Verifica-se a estabilidade das assinaturas.

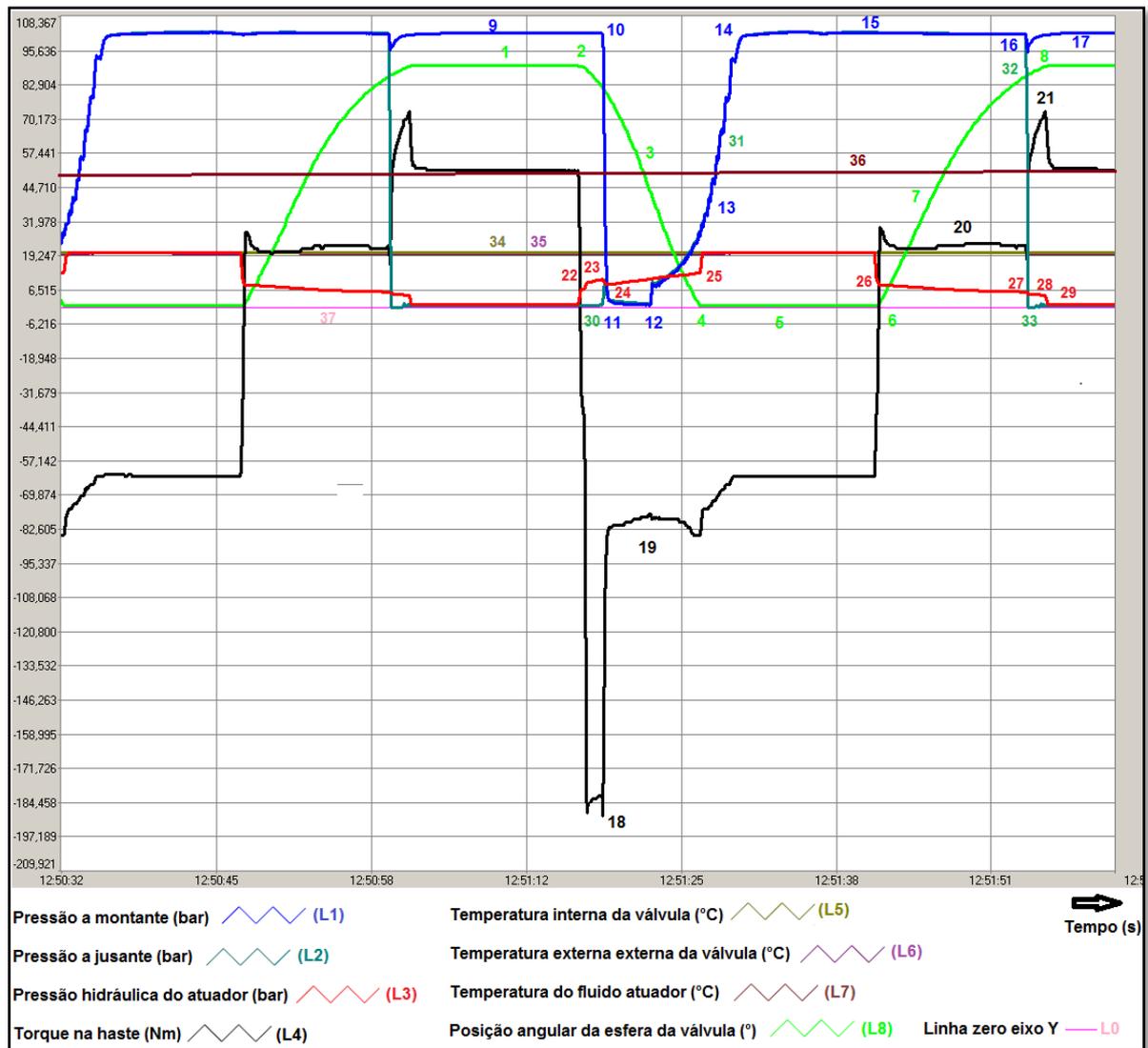
Figura 16 – Apresentação dos dados plotados de forma gráfica dos primeiros 1000 ciclos.



Fonte: Autor (2020).

Para melhor elucidar a forma como os dados brutos são monitorados em tempo real, a Figura 17 apresenta um ciclo ampliado e plotado de forma gráfica. Verifica-se que os dados coletados são plotados em função do tempo. Para explanação deste evento foram colocados números nas linhas e nas regiões do gráfico na quais são detalhados na Tabela 7.

Figura 17 – Gráfico de um ciclo gerado ao longo dos ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Após o término dos ensaios cíclicos os dados coletados foram trabalhados utilizando-se o software Matlab[®]. Entre os dados coletados, os pontos notáveis selecionados e analisados foram: 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29 da Tabela 7. Também, foram analisadas ao longo de todos os ensaios as assinaturas de pressão a montante e a jusante, linhas L1 e L2 da Figura 17. Esta análise permite verificar se as válvulas mantiveram sua capacidade de vedação do fluido na sede a montante.

Tabela 7 – Detalhamento dos pontos do gráfico da Figura 17.

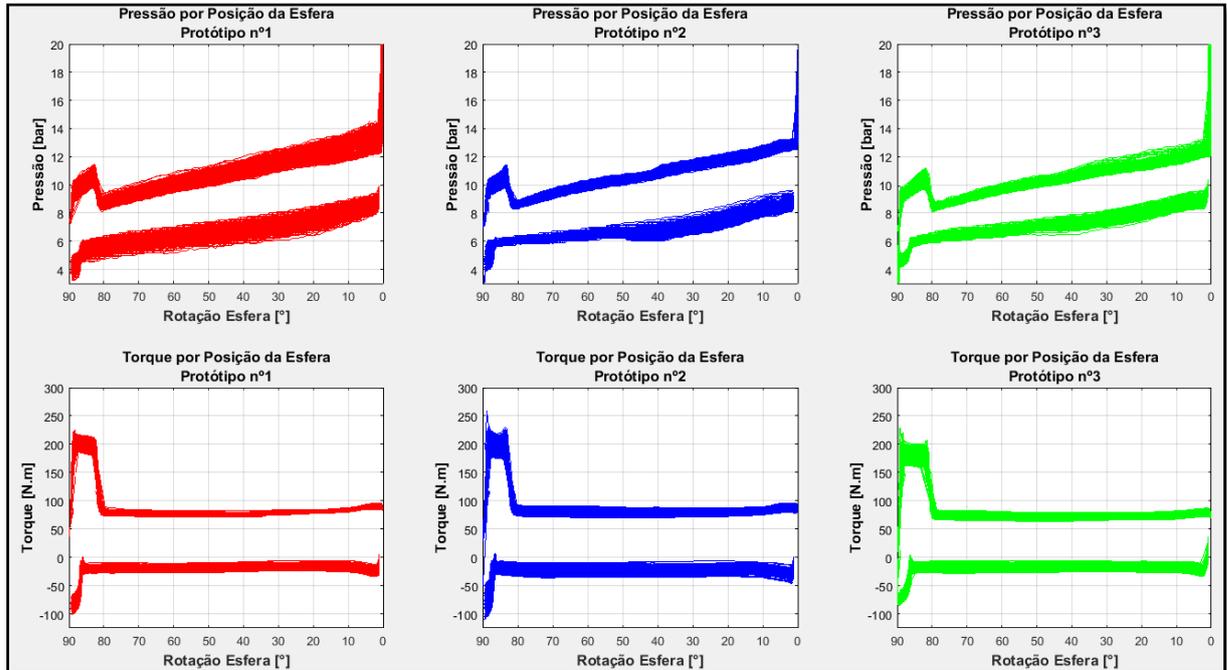
Pontos - Descrição
1 – Posição angular da esfera 90°, válvula na posição fechada;
2 – Início da abertura da válvula;
3 – Válvula em processo de abertura;
4 – Válvula totalmente aberta;
5 – Tempo de permanência da válvula aberta;
6 – Início do fechamento da válvula;
7 – Válvula em processo de fechamento;
8 – Válvula totalmente fechada;
9 – Válvula com a pressão máxima de trabalho a montante;
10 – Início da despressurização a montante;
11 – A montante da válvula despressurizada;
12 – Início da pressurização da válvula;
13 – Processo de pressurização da válvula;
14 – Pressão máxima alcançada;
15 – Válvula com a montante e a jusante pressurizada;
16 – Oscilação da pressão a montante devido à despressurização a jusante;
17 – Válvula com a pressão máxima de trabalho a montante;
18 – Torque real de abertura com a máxima pressão diferencial. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos denominado de (TRAC);
19 – Torque real de abertura sem diferencial de pressão. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos denominado de (TRAS);
20 – Torque real de fechamento sem diferencial de pressão. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos denominado de (TRFS);
21 – Torque real de fechamento com a máxima pressão diferencial. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos denominado de (TRFC);
22 – Pressão do atuador hidráulico no início do movimento da esfera. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de avanço do pistão denominado de (A2);
23 – Pressão do atuador hidráulico no momento da abertura da válvula. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de avanço do pistão denominado de (A3);
24 – Pressão do atuador hidráulico após a descarga da pressão da válvula. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de avanço do pistão denominado de (A4);
25 – Pressão do atuador hidráulico no momento da abertura total da válvula. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de avanço do pistão denominado de (A5);
26 – Pressão do atuador hidráulico no início do movimento de fechamento da válvula. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de retorno do pistão denominado de (R1);
27 – Pressão do atuador hidráulico no momento do fechamento da válvula no (ΔP) máximo. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de retorno do pistão denominado de (R2);
28 – Pressão do atuador hidráulico no momento do fechamento da válvula. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de retorno do pistão denominado de (R3);
29 – Pressão do atuador hidráulico após a válvula ser mantida fechada. Pressão do atuador hidráulico no momento do fechamento da válvula. Ponto notável analisado ao longo dos ensaios cíclicos. Pressão de repouso do pistão denominado de (R4);
30 – Pressão a montante na válvula no momento que recebe a descarga;
31 – Pressão a jusante acompanha a montante até o fechamento da válvula no (ΔP) máximo;
32 – Momento da descarga da pressão a jusante no fechamento da válvula no (ΔP) máximo;
33 – Jusante da válvula despressurizada;
34 – Temperatura interna da válvula;
35 – Temperatura externa da válvula;
36 – Temperatura do fluido do atuador;
37 – Linha zero no eixo Y.

Fonte: Autor (2020).

A Figura 18 apresenta as assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas para os 3 protótipos ao longo dos mais de 2000 ciclos. Estas assinaturas receberam a nova formatação por meio do software MatLab[®], onde os dados de pressão do atuador e torque na

haste da válvula foram plotados sobrepostos e em relação à posição angular da esfera durante a abertura e fechamento da válvula. É possível verificar a estabilidade das assinaturas ao longo dos ensaios cíclicos.

Figura 18 – Assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas, 3 protótipos, temperatura ambiente.



Fonte: Autor (2020).

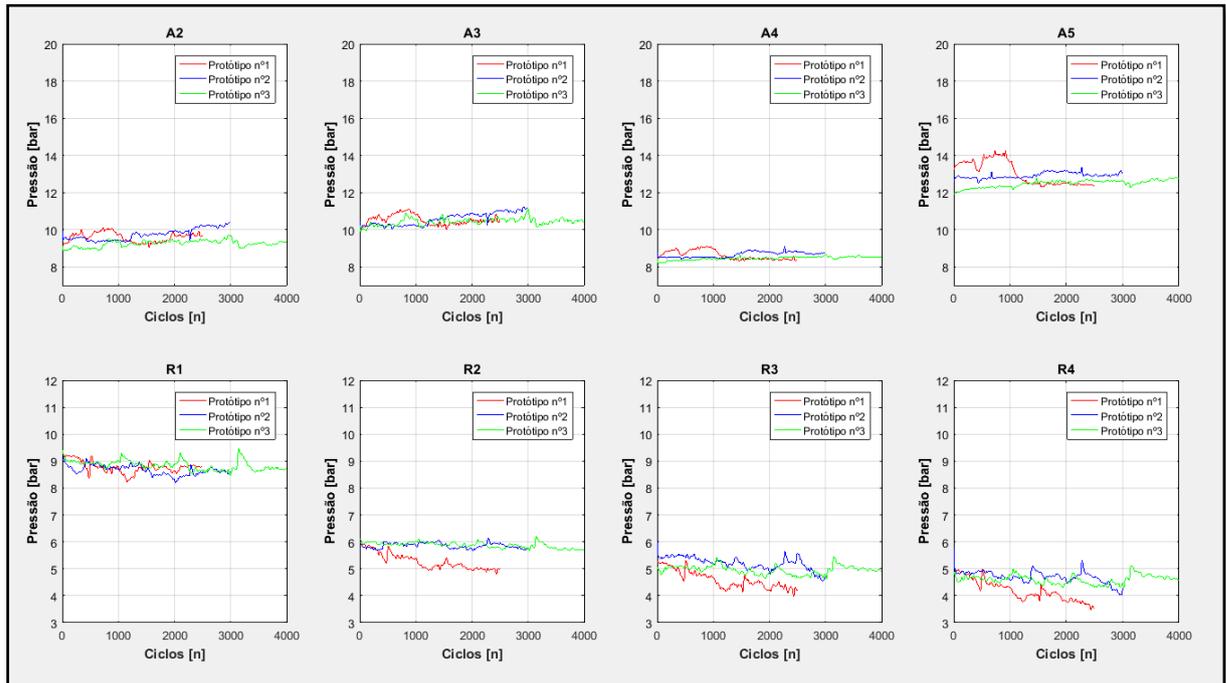
Foram retirados dados referentes aos pontos notáveis e plotados de forma gráfica na Figura 19 para a pressão do atuador e Figura 20 para o torque na haste da válvula. Na Tabela 8, são apresentados os valores de média e desvio padrão para os pontos notáveis de pressão do atuador e na Tabela 9 são apresentados os valores para os torques. Por convenção, os torques para a abertura possuem valores positivos e para o fechamento valores negativos. Os dados apresentam estabilidade.

Tabela 8 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis da pressão do atuador. Temperatura ambiente.

Protótipos	Valor	A2	A3	A4	A5	R1	R2	R3	R4
Protótipo 1	Média	9,59	10,52	8,63	13,02	8,78	5,27	4,6	4,19
	Desvio padrão	0,27	0,32	0,25	0,67	0,24	0,31	0,34	0,39
Protótipo 2	Média	9,75	10,58	8,65	12,92	8,67	5,86	5,21	4,7
	Desvio padrão	0,32	0,36	0,16	0,19	0,19	0,11	0,25	0,22
Protótipo 3	Média	9,25	10,43	8,46	12,49	8,84	5,88	4,96	4,61
	Desvio padrão	0,18	0,24	0,09	0,19	0,21	0,11	0,17	0,17

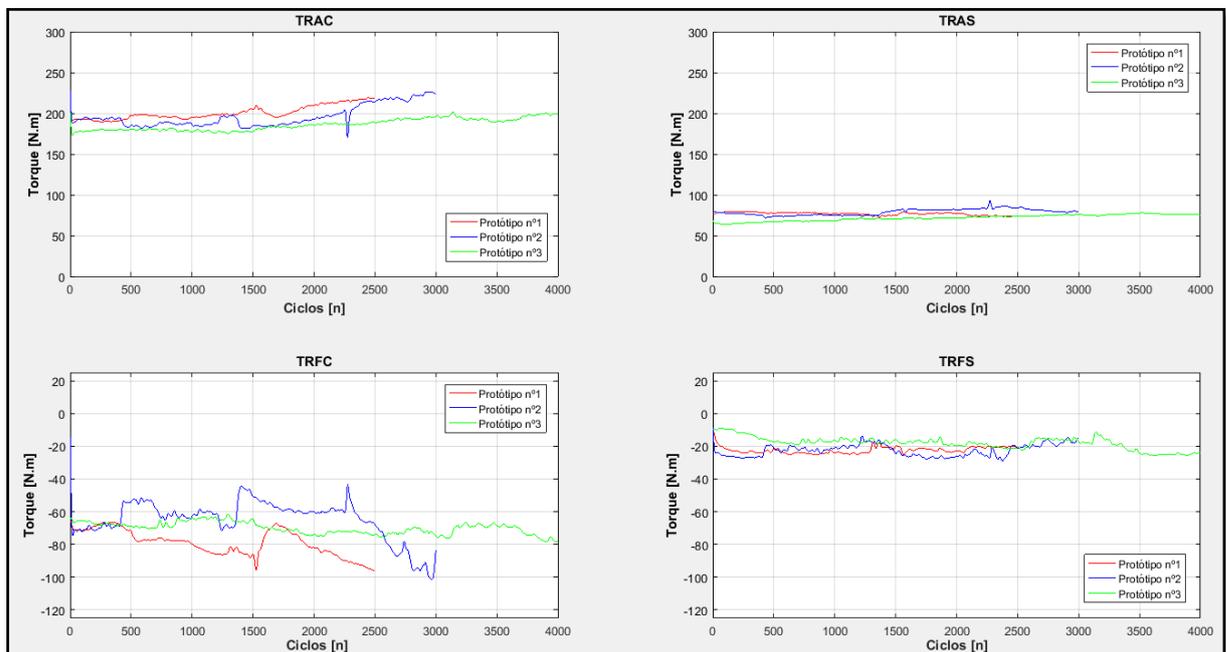
Fonte: Autor (2020).

Figura 19 – Pontos notáveis de pressão do atuador hidráulico, temperatura ambiente.



Fonte: Autor (2020).

Figura 20 – Pontos notáveis do torque na haste da válvula, temperatura ambiente.



Fonte: Autor (2020).

Tabela 9 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis do torque na haste. Temperatura ambiente.

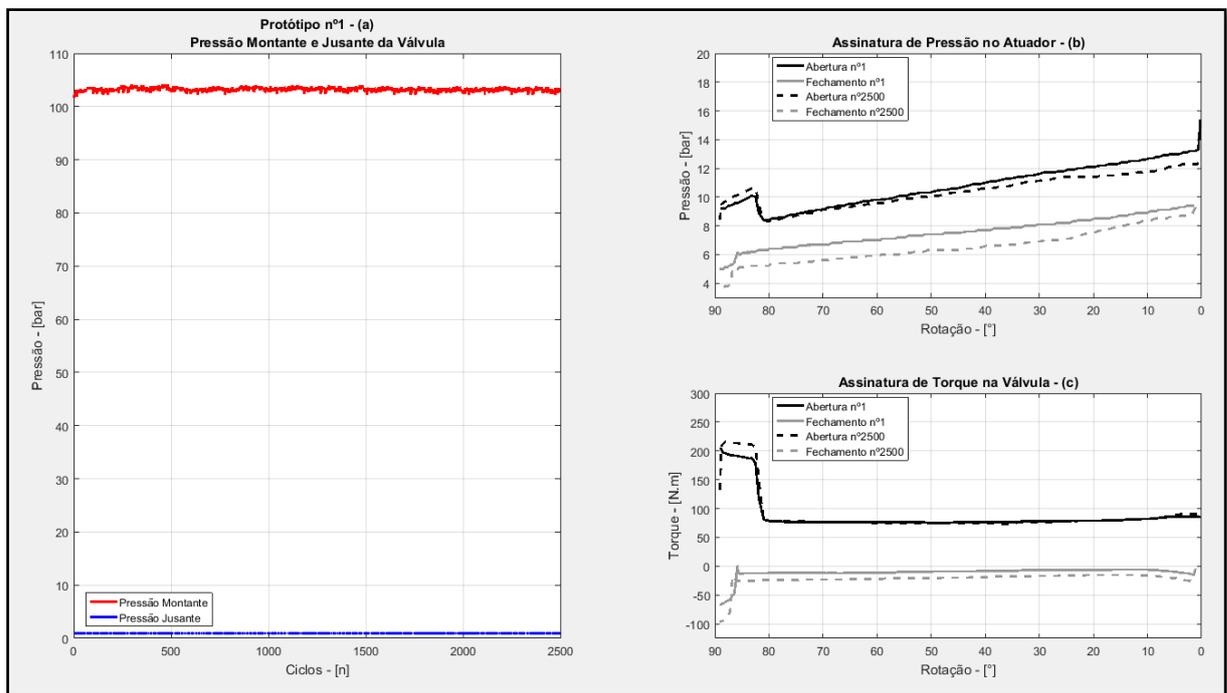
Protótipos	Valor	TRAC	TRAS	TRFC	TRFS
Protótipo 1	Média	200,7	76,73	-79,13	-22,41
	Desvio padrão	8,66	1,68	7,99	2,09
Protótipo 2	Média	195,83	78,97	-65,03	-22,58
	Desvio padrão	13,82	4,26	12,4	3,8
Protótipo 3	Média	186,1	71,96	-69,97	-19,03
	Desvio padrão	7,44	3,73	3,83	3,91

Fonte: Autor (2020).

Para o protótipo 1 foram realizados 2500 ciclos, sendo 500 ciclos a mais do mínimo estipulado na metodologia. A Figura 21(a) apresenta pressões a montante e a jusante ao longo dos ensaios cíclicos. Verifica-se que a válvula manteve sua capacidade de vedação ao longo de todos os ciclos.

Na Figura 21(b) e (c), verificam-se as assinaturas de pressão do atuador e de torque na haste de forma sobreposta em relação ao primeiro e último ciclo realizado. Verifica-se semelhança entre as assinaturas demonstrando a estabilidade nos resultados.

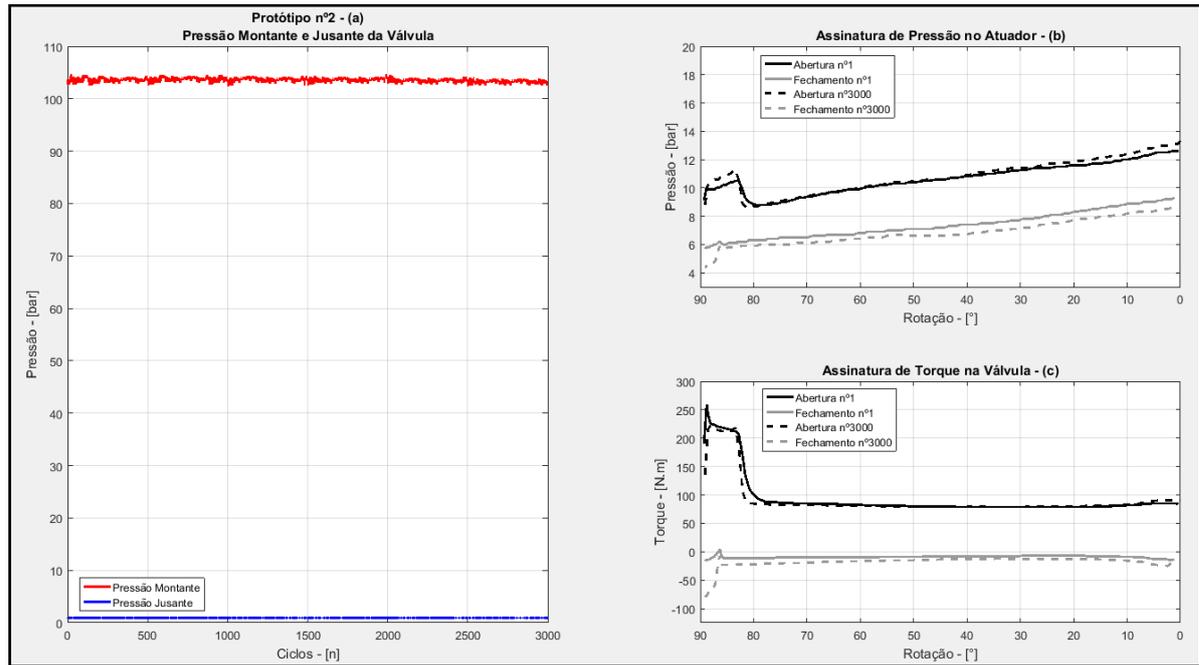
Figura 21 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 1.



Fonte: Autor (2020).

Para o protótipo 2, foram realizados 3000 ciclos, sendo 500 acima do protótipo 1. A Figura 22(a), (b) e (c) apresentam plotagens de gráficos semelhantes ao protótipo 1. Também se verifica a estabilidade dos dados e a capacidade de vedação da válvula na sede a montante.

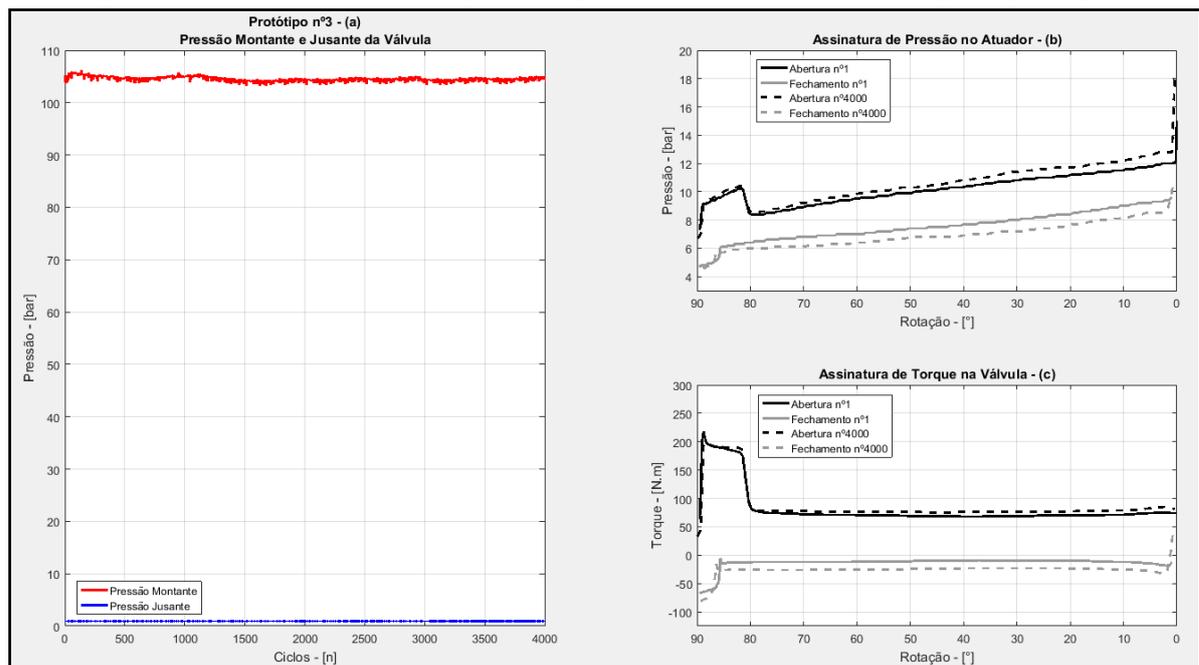
Figura 22 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 2.



Fonte: Autor (2020).

Para o protótipo 3 foram realizados 4000 ciclos, sendo 1000 ciclos acima do realizado no protótipo 2. Esta extensão de ciclos foi realizada para verificação de uma possível falha que pudesse vir a acontecer. O resultado apresentado mostrou-se semelhante aos protótipos anteriores como pode ser verificado na Figura 23.

Figura 23 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 3.



Fonte: Autor (2020).

Após os ensaios cíclicos, os protótipos foram desmontados, conforme algumas fotos no (APÊNDICE B). Verificou-se que os únicos componentes que apresentaram maiores alterações dimensionais foram as sedes poliméricas na região a montante.

A Tabela 10 apresenta os valores das alturas de controle antes e após os ensaios. Verifica-se que as sedes a montante tiveram redução na altura de controle de forma semelhante, sendo em média, 0,91 mm para sede a montante e 0,11 mm para a sede a jusante.

A Figura 24, Figura 25 e Figura 26 apresentam as fotos das sedes após os ensaios cíclicos. Verifica-se a integridade das bandas de vedação mesmo com a redução da altura de controle apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Altura de controle antes e após os ensaios em temperatura ambiente.

Protótipo	Nº do Pistão (corpo a montante)	Altura de controle inicial (mm)	Altura de controle final (mm)	Diferença (mm)	Nº do Pistão (tampa a jusante)	Altura de controle inicial (mm)	Altura de controle final (mm)	Diferença (mm)
Protótipo 1	1	116,52	115,68	0,84	2	116,48	116,39	0,09
Protótipo 2	3	116,49	115,58	0,91	4	116,52	116,41	0,11
Protótipo 3	5	116,51	115,53	0,98	6	116,51	116,38	0,13

Fonte: Autor (2010).

Figura 24 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 1 após os ensaios cíclicos.



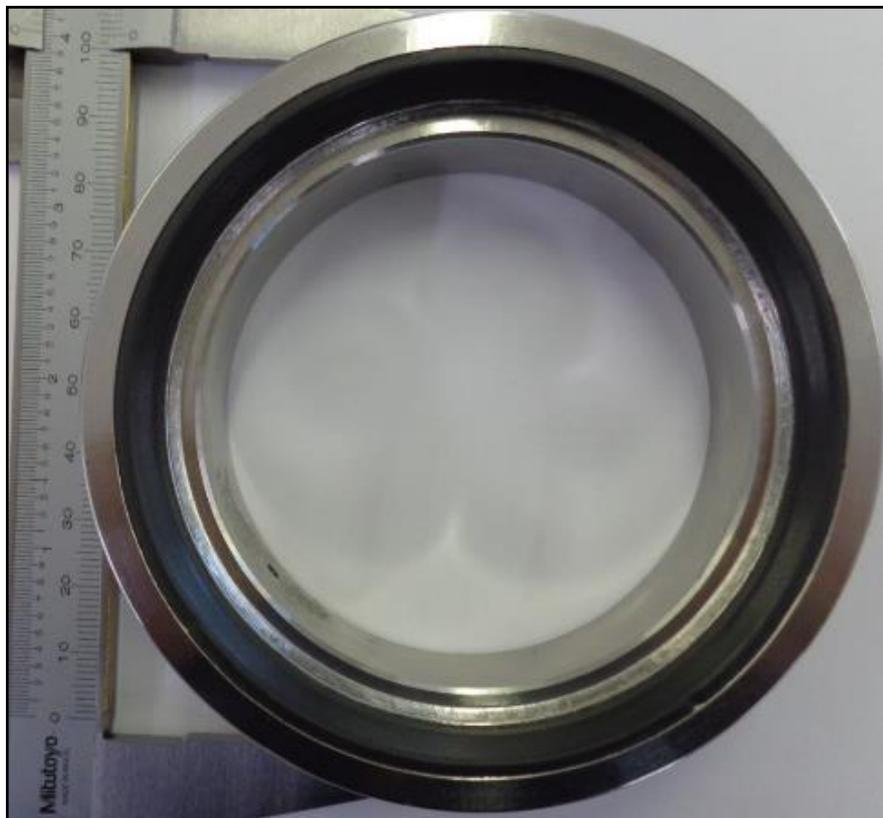
Fonte: Autor (2020).

Figura 25 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 2 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 26 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 3 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

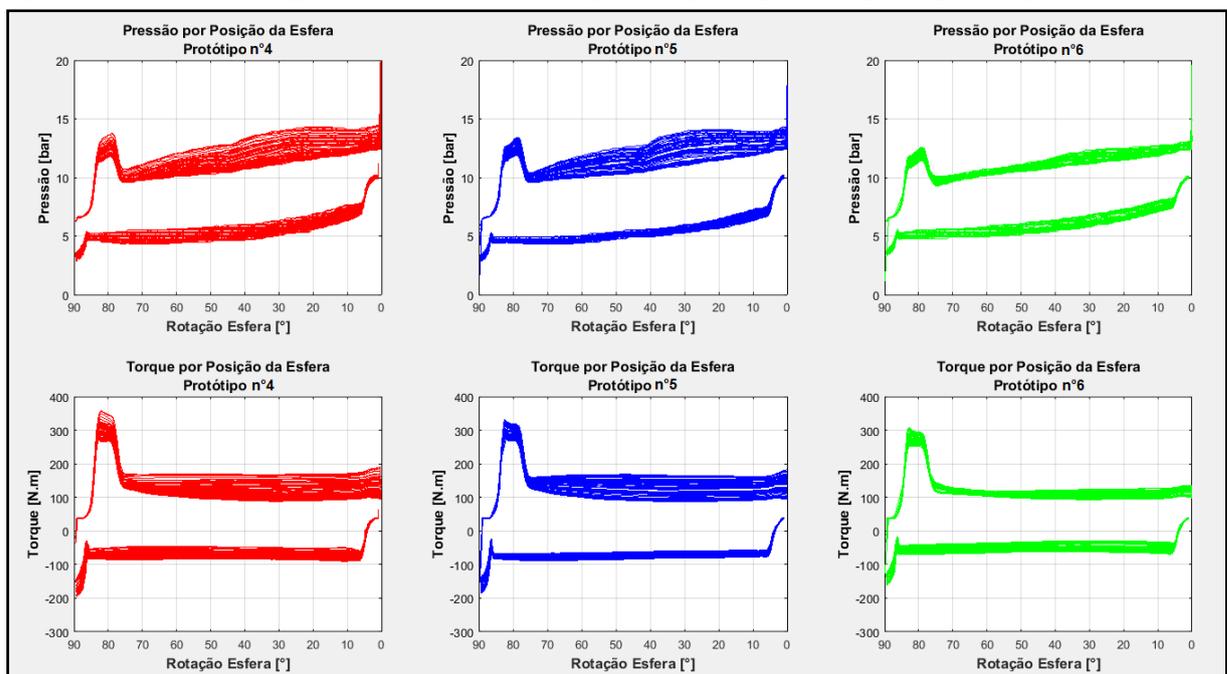
4.3 ENSAIOS EM TEMPERATURA MÍNIMA

Para os ensaios em temperatura mínima, a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, foram seguidos os mesmos métodos utilizados nos ensaios em temperatura ambiente. Porém, a instrumentação contou com a utilização de uma câmara de resfriamento onde as válvulas foram instaladas, conforme apresentado na metodologia,

Figura 12.

A Figura 27 apresenta as assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas para os 3 protótipos ensaiados na temperatura mínima. Verifica-se a estabilidade das assinaturas ao longo dos ensaios cíclicos.

Figura 27 – Assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas para os 3 protótipos, temperatura mínima.



Fonte: Autor (2020).

Quanto aos pontos notáveis, a Figura 28 apresenta os dados para a pressão do atuador e a Figura 29 para os valores de torques.

Na Tabela 11 e Tabela 12, pode-se verificar a estabilidade dos valores de pressão do atuador e torque na haste ao longo dos ensaios. Verificam-se valores maiores se comparado com os resultados obtidos nos testes em temperatura ambiente.

Tabela 11 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis da pressão do atuador. Temperatura mínima.

Protótipos	Valor	A2	A3	A4	A5	R1	R2	R3	R4
Protótipo 4	Média	11,64	12,07	9,74	12,95	9,91	4,77	4,37	3,58
	Desvio padrão	0,34	0,48	0,21	0,5	0,11	0,13	0,23	0,21
Protótipo 5	Média	11,62	12,39	9,81	12,81	9,59	4,59	4,21	3,3
	Desvio padrão	0,22	0,41	0,2	0,53	0,14	0,11	0,16	0,14
Protótipo 6	Média	11,21	11,87	9,71	12,58	9,72	4,92	4,62	3,81
	Desvio padrão	0,3	0,33	0,18	0,17	0,1	0,13	0,16	0,1

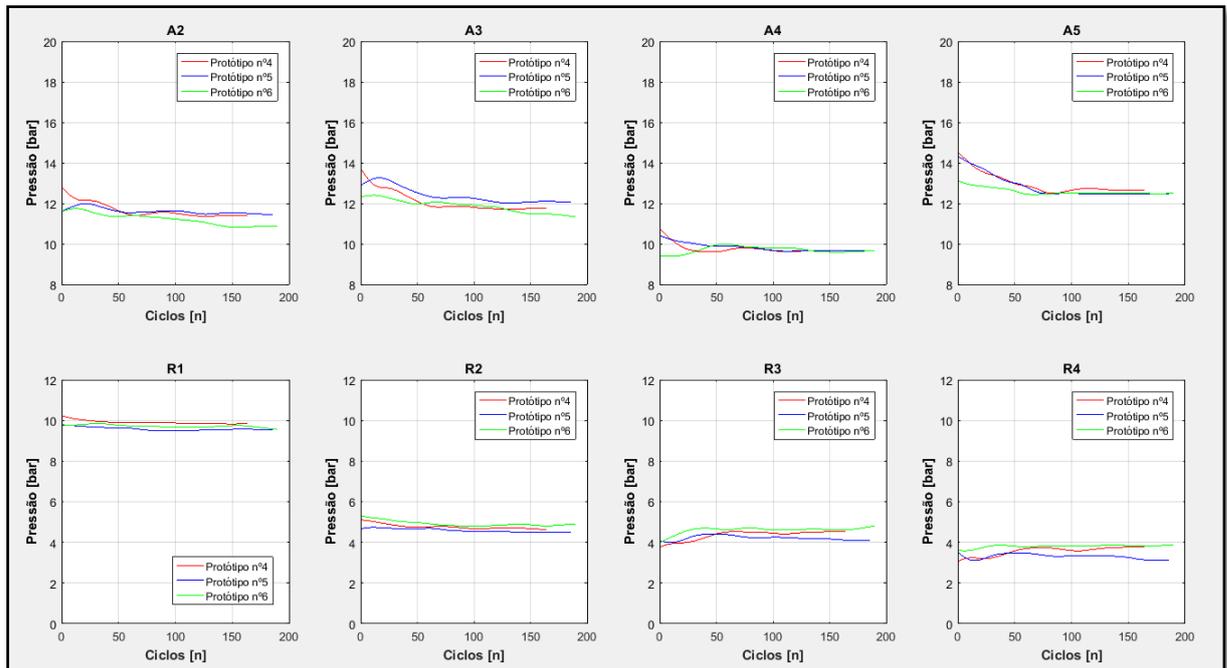
Fonte: Autor (2020).

Tabela 12 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis do torque na haste. Temperatura ambiente.

Protótipos	Valor	TRAC	TRAS	TRFC	TRFS
Protótipo 4	Média	289,78	110,07	-144,84	-71,43
	Desvio padrão	16,77	18,6	18,64	6,66
Protótipo 5	Média	286,03	107	-140,89	-69,1
	Desvio padrão	10,43	19,71	12,9	4,68
Protótipo 6	Média	271,97	102,98	-122,76	-53,92
	Desvio padrão	12,61	5,16	8,71	8,57

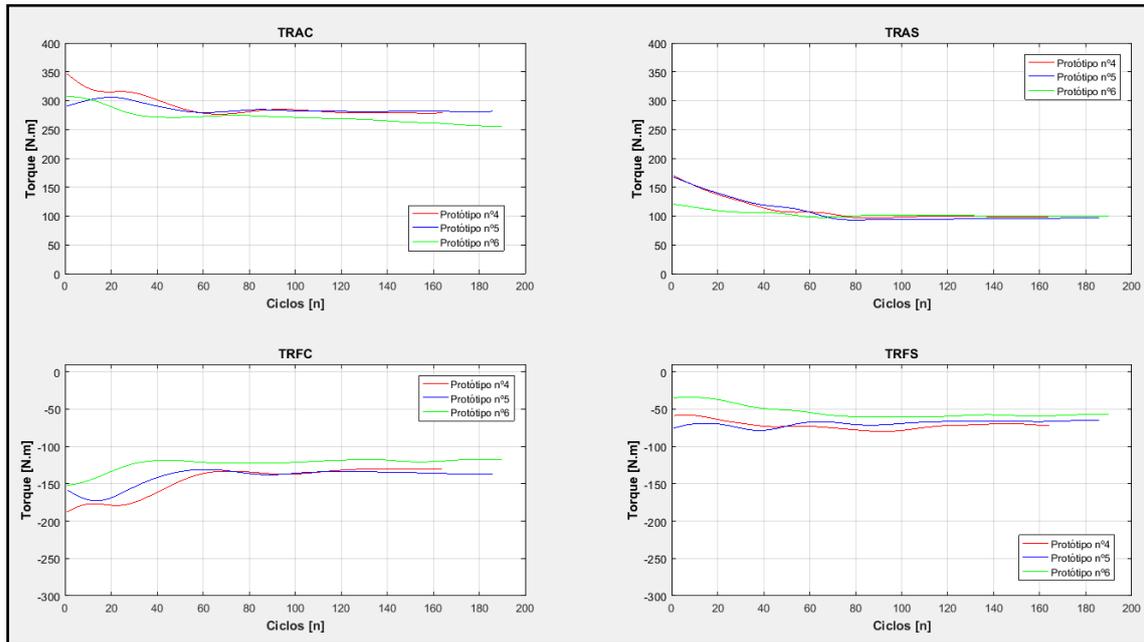
Fonte: Autor (2020).

Figura 28 – Pontos notáveis de pressão do atuador hidráulico, temperatura mínima.



Fonte: Autor (2020).

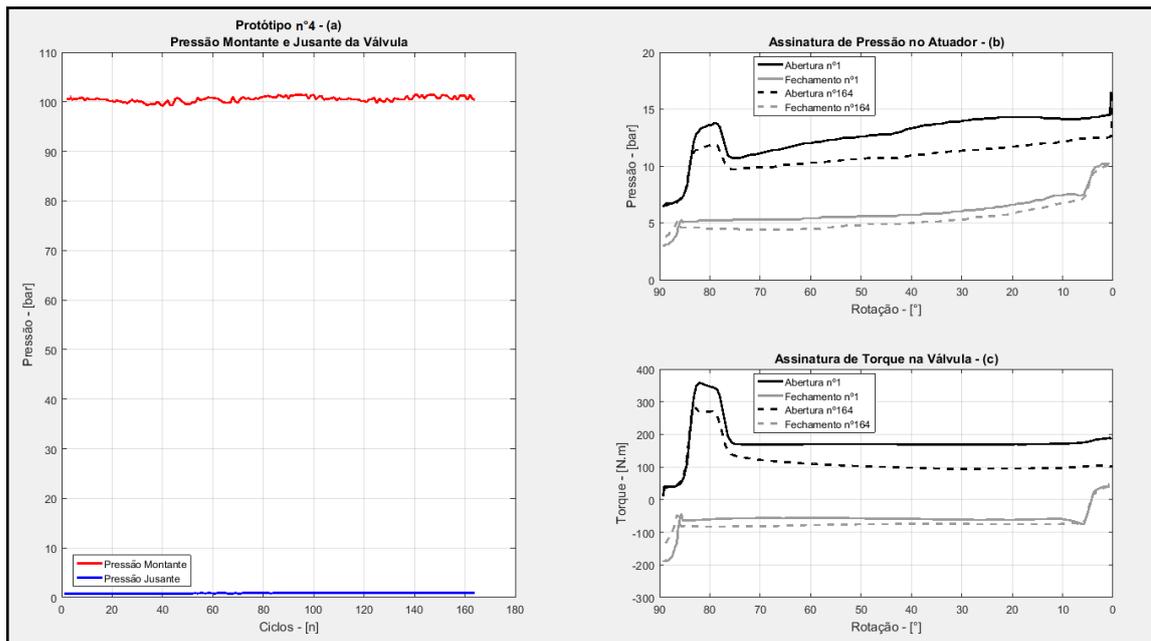
Figura 29 – Pontos notáveis do torque na haste da válvula, temperatura mínima.



Fonte: Autor (2020).

O primeiro protótipo ensaiado à temperatura mínima, denominado de número 4, realizou 164 ciclos. Sendo 4 ciclos a mais que o número mínimo previsto na metodologia. Na Figura 30, verifica-se a capacidade de estanqueidade da válvula ao longo do ensaio e as assinaturas iniciais e finais sobrepostas.

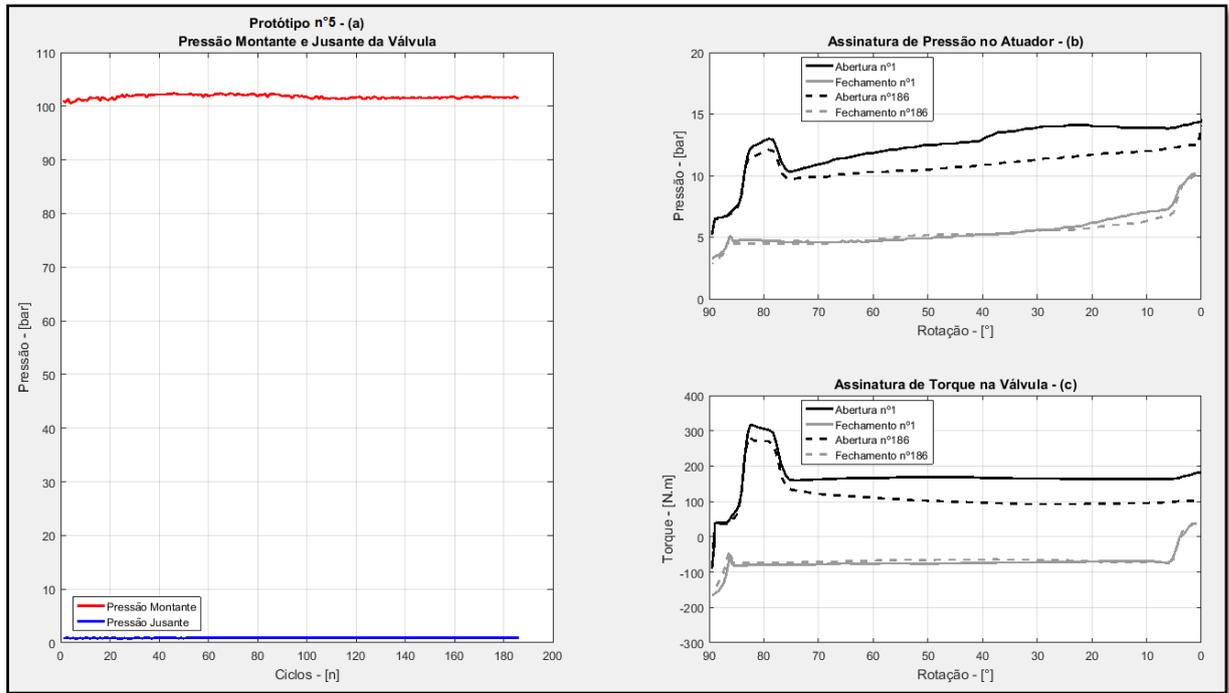
Figura 30 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 4.



Fonte: Autor (2020).

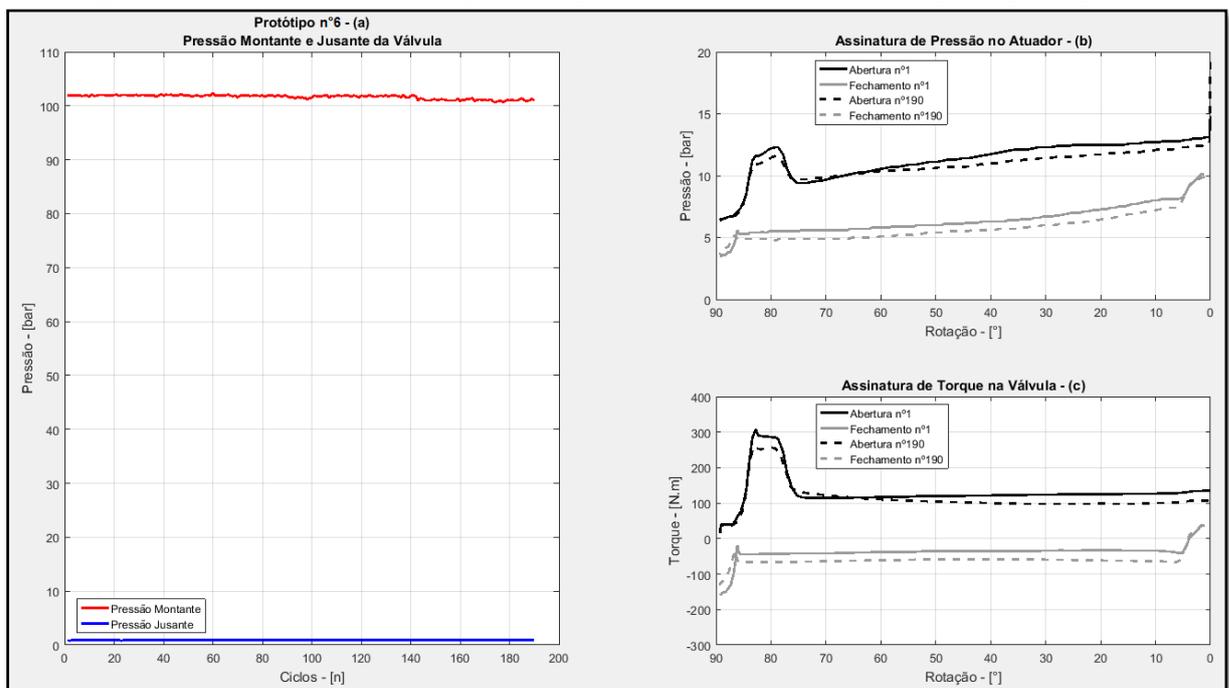
Para o protótipo 5 foram realizados 186 ciclos, conforme Figura 31. Já, para o protótipo 6 foram realizados 190 ciclos, conforme Figura 32.

Figura 31 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 5.



Fonte: Autor (2010).

Figura 32 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 6.



Fonte: Autor (2020).

Após os ensaios cíclicos, os protótipos foram desmontados. Foram efetuadas as medições nas alturas de controle dos anéis porta sede. A Tabela 13 apresenta os resultados. Verifica-se que as sedes a montante tiveram redução na altura de controle em média 0,44 mm e 0,1 mm para as sedes a jusante.

Tabela 13 – Altura de controle antes e após os ensaios em temperatura mínima.

Protótipo	N° do Pistão (corpo a montante)	Altura de controle inicial (mm)	Altura de controle final (mm)	Diferença (mm)	N° do Pistão (tampa a jusante)	Altura de controle inicial (mm)	Altura de controle final (mm)	Diferença (mm)
Protótipo 4	7	116,48	116,07	0,41	8	116,5	116,42	0,08
Protótipo 5	9	116,51	116,07	0,44	10	116,49	116,38	0,11
Protótipo 6	11	116,5	116,04	0,46	12	116,51	116,39	0,12

Fonte: Autor (2020).

As fotos das sedes após os ensaios cíclicos são apresentadas na Figura 33, Figura 34 e Figura 35. Verifica-se a integridade das bandas de vedação mesmo com a redução da altura de controle apresentada na Tabela 13.

Figura 33 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 4 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 34 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 5 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 35 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 5 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

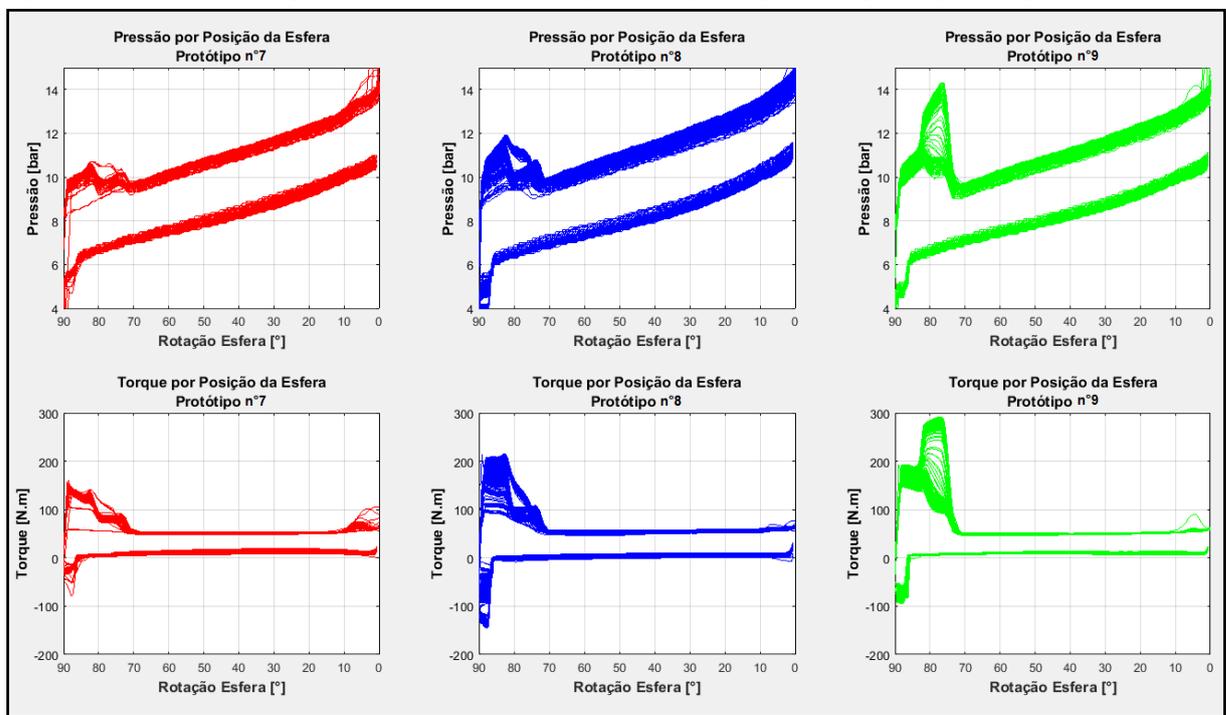
4.4 ENSAIOS EM TEMPERATURA MÁXIMA

Os ensaios ciclos realizados à temperatura máxima seguiram a metodologia semelhante aos testes anteriores, porém, utilizou-se um sistema para aquecimento das válvulas a temperatura de 120 °C, conforme apresentado na

Figura 12.

A Figura 36 apresenta os valores de assinaturas sobrepostas para os três protótipos testados em temperatura máxima. Nestas assinaturas é possível verificar algumas instabilidades, principalmente nos protótipos 8 e 9.

Figura 36 – Assinaturas de pressão do atuador e do torque sobrepostas para os 3 protótipos, temperatura máxima.



Fonte: Autor (2020).

Quanto aos pontos notáveis, a Figura 37 apresenta os dados para a pressão do atuador e a Figura 38 para os valores de torques.

Na Figura 37, Figura 38, Tabela 14 e Tabela 15, pode-se verificar a instabilidade dos valores de pressão do atuador e torque na haste ao longo dos ensaios. Verificam-se valores médios menores se comparado com os resultados obtidos nos testes a temperatura ambiente e mínima.

Para o protótipo 7 foram realizados 205 ciclos a um diferencial de pressão de 92 bar. O protótipo 7 realizou os ensaios cíclicos sem apresentar flutuações em seus valores até o ciclo de número 202.

Tabela 14 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis da pressão do atuador. Temperatura máxima.

Protótipos	Valor	A2	A3	A4	A5	R1	R2	R3	R4
Protótipo 7	Média	9,71	9,98	9,72	13,88	10,57	6,3	6,16	5,36
	Desvio padrão	0,23	0,27	0,21	0,2	0,2	0,09	0,08	0,14
Protótipo 8	Média	10,21	10,82	9,77	14,46	10,8	6,12	4,89	4,65
	Desvio padrão	0,48	0,59	0,18	0,34	0,2	0,1	0,36	0,39
Protótipo 9	Média	10,03	11,46	9,51	13,88	10,5	6,22	6,07	4,7
	Desvio padrão	0,22	1,03	0,16	0,22	0,17	0,09	0,1	0,17

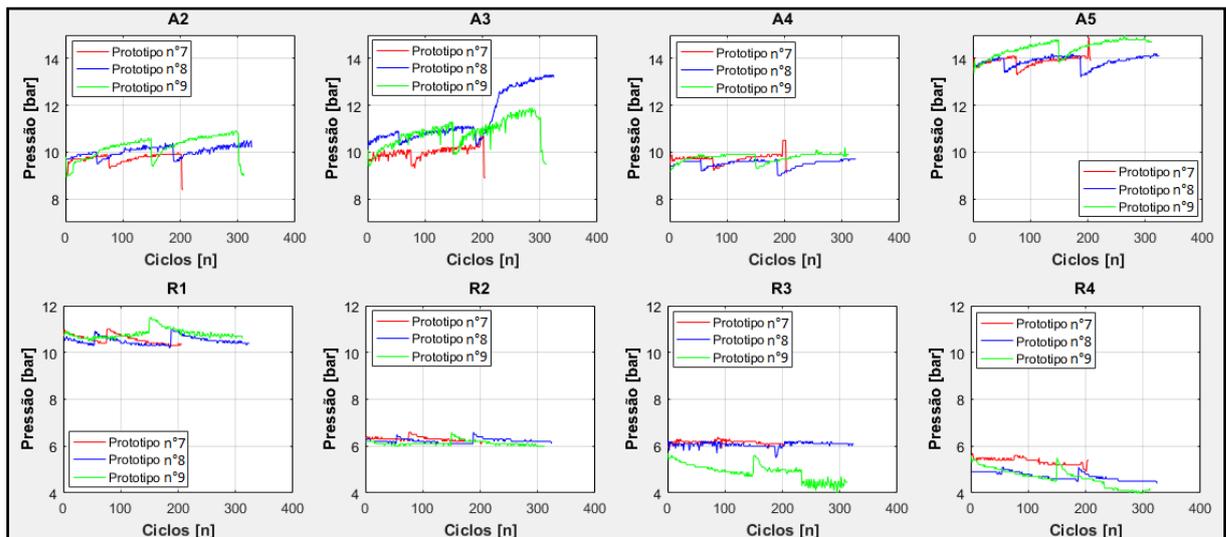
Fonte: Autor (2020).

Tabela 15 – Média e desvio padrão dos pontos notáveis do torque na haste. Temperatura máxima.

Protótipos	Valor	TRAC	TRAS	TRFC	TRFS
Protótipo 7	Média	140,45	49,74	-26,29	-9,29
	Desvio padrão	11,82	0,81	6,05	2,26
Protótipo 8	Média	166,24	51,93	-83,42	-3,63
	Desvio padrão	30,89	2,16	32,67	1,93
Protótipo 9	Média	183,6	48,61	-73,13	-10,5
	Desvio padrão	59,26	0,96	12,4	1,35

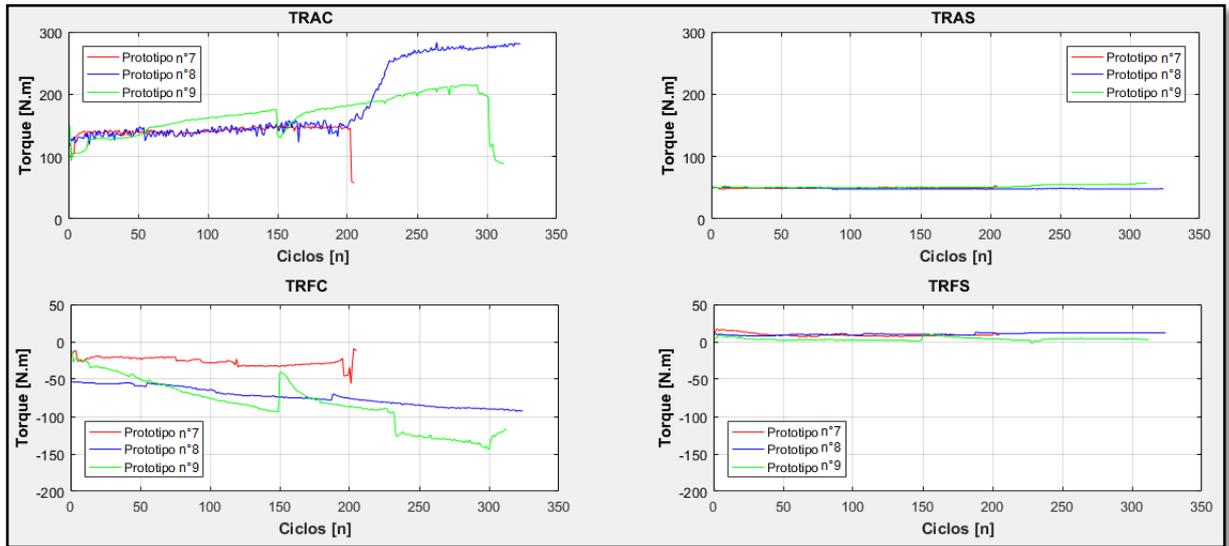
Fonte: Autor (2020).

Figura 37 – Pontos notáveis de pressão do atuador hidráulico, temperatura máxima.



Fonte: Autor (2020).

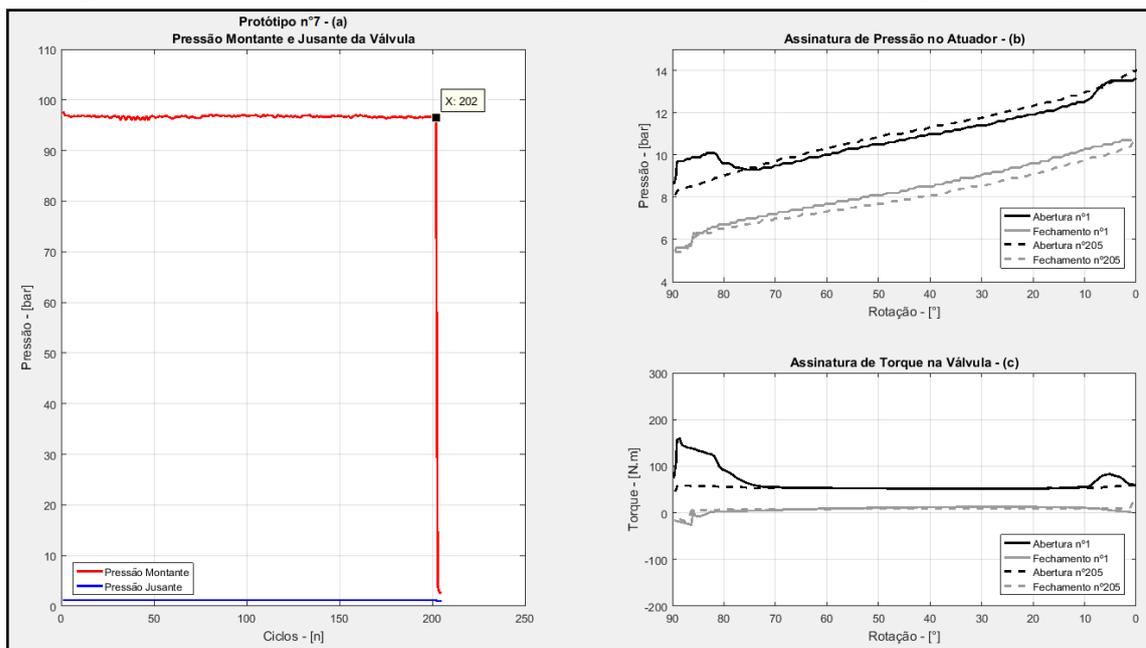
Figura 38 – Pontos notáveis do torque na haste da válvula, temperatura máxima.



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 39(a) verifica-se que no ciclo de 202 ocorre uma queda abrupta da pressão a montante para a jusante. Isso demonstra a perda da capacidade de vedação a montante na válvula. Na Figura 39(b) e (c), verifica-se que as assinaturas iniciais e finais estão sobrepostas. Nota-se que as assinaturas finais não acompanham os perfis das assinaturas iniciais e apresentam valores menores nas regiões de início da abertura e final do fechamento.

Figura 39 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 7.

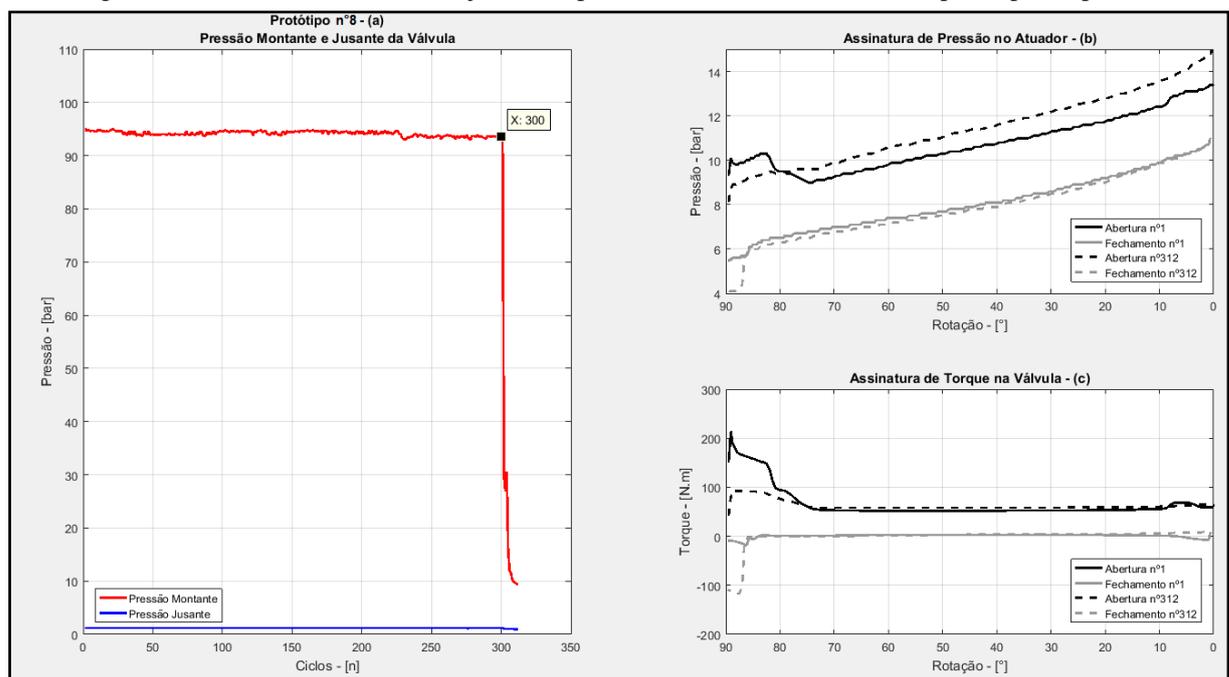


Fonte: Autor (2020).

Para o protótipo 8 foram realizados 312 ciclos. Para este protótipo as maiores flutuações ocorreram próximas aos 300 ciclos.

Na Figura 40(a), verifica-se que no ciclo de 300 ocorre uma queda abrupta da pressão a montante para a jusante. Isso demonstra a perda da capacidade de vedação do fluido a montante na sede da válvula. Na Figura 40 (b) e (c), verificam-se que as assinaturas iniciais e finais estão sobrepostas. Nota-se que as assinaturas finais não acompanham os perfis das assinaturas iniciais.

Figura 40 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 8.



Fonte: Autor (2020).

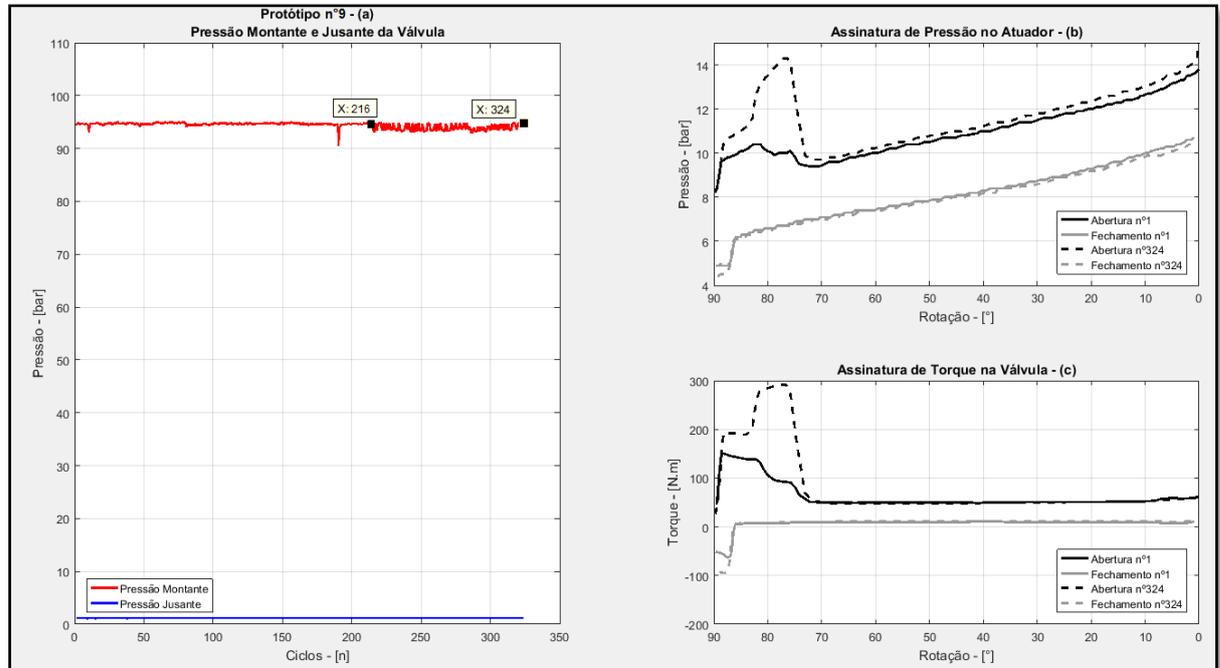
Para o protótipo 9 foram realizados 324 ciclos. Verifica-se a instabilidade dos valores dos pontos notáveis a partir dos 216 ciclos. A válvula passou a aumentar os valores de torque e, conseqüentemente, de pressão do atuador do hidráulico para operação.

Na Figura 41(a), verifica-se que a capacidade da válvula foi mantida, porém, com sinais de instabilidade a partir dos 216 ciclos. Na Figura 41(b) e (c), verificam-se as assinaturas iniciais e finais sobrepostas. Nota-se que as assinaturas finais não acompanham os perfis das assinaturas iniciais, pois ocorre um aumento nos valores para o ciclo final.

Após os ensaios cíclicos, as válvulas foram desmontadas e verificadas as vedações poliméricas denominadas de sedes. Para os protótipos 7 e 8, ocorreu o rompimento da banda de vedação. Quanto ao protótipo 9, ocorreu deformação excessiva na sede a montante, porém,

uma pequena banda de vedação no diâmetro interno foi mantida, conforme Figura 42, Figura 43 e Figura 44.

Figura 41 – Pressões a montante e a jusante, e primeira e última assinatura sobreposta, protótipo 9.



Fonte: Autor (2020).

Figura 42 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 7 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 43 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 8 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 44 – Foto do anel porta sede a montante do protótipo 9 após os ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Após os ensaios cíclicos, os protótipos foram desmontados e foram efetuadas medições nas alturas de controle dos anéis porta sede. A Tabela 16 apresenta os resultados. Verificou-se que as sedes a montante tiveram redução na altura de controle em média 1,45 mm para a montante e 0,18 mm para a jusante.

Tabela 16 – Altura de controle antes e após os ensaios em temperatura máxima.

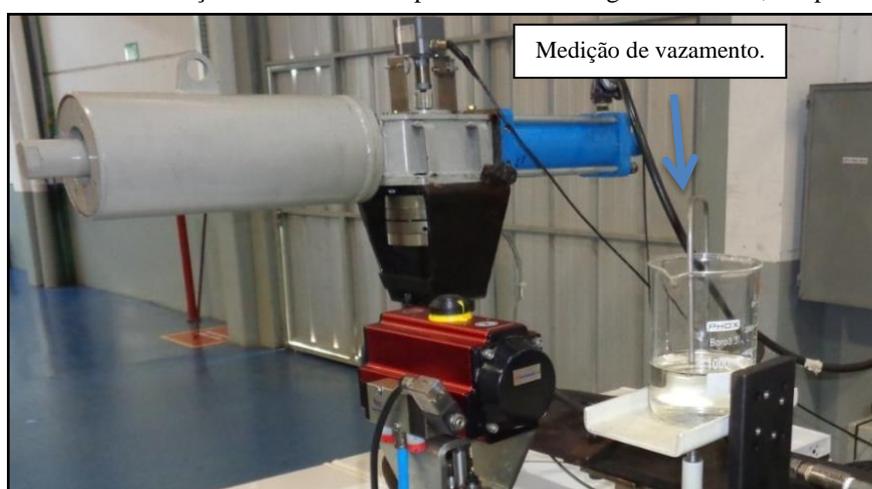
Protótipo	Nº do Pistão (corpo a montante)	Altura de controle inicial (mm)	Altura de controle final (mm)	Diferença (mm)	Nº do Pistão (tampa a jusante)	Altura de controle inicial (mm)	Altura de controle final (mm)	Diferença (mm)
Protótipo 7	13	116,52	115,11	1,41	14	116,49	116,33	0,16
Protótipo 8	15	116,5	115,05	1,45	16	116,51	116,33	0,18
Protótipo 9	17	116,49	115,01	1,48	18	116,52	116,31	0,21

Fonte: Autor (2020).

4.5 MEDIÇÕES DE VAZAMENTO

Além do monitoramento dos valores de pressão a montante e a jusante ao longo de todos os ensaios, na qual são dados utilizados para monitoramento de vazamento, realizaram-se também testes de estanqueidade estáticos. Estes testes foram realizados no início e no final de cada ensaio cíclico. Utilizou-se o método de medição por contagem de bolhas apresentado na seção 3.3, utilizando a linha (L4) apresentada na Figura 13. Para a maioria dos protótipos o resultado foi sem vazamento visível (SVV), anteriormente e também após os ensaios. Apenas os protótipos 7 e 8 apresentaram vazamento após os testes de ensaios cíclicos. A Figura 45 apresenta foto de exemplo da medição de vazamento realizada em baixa temperatura.

Figura 45 – Foto da realização do teste de sede por meio de contagem de bolhas, temperatura mínima.



Fonte: Autor (2020).

5 DISCUSSÕES

Verificou-se que o valor de torque calculado, 214 Nm para o (TNO), aproxima-se do valor de torque real de operação, 194 Nm para o (TRO), em média, com uma diferença de aproximadamente 10%. Segundo a norma ABNT NBR 15827 (2018), o critério de aceitação para os valores de torques para o (TRO) é que o mesmo apresente valores médios de até 90% do (TNO). Para os estudos apresentados neste trabalho, essa premissa de projeto foi alcançada.

O resultado de (TNO) obtido por meio de cálculos analíticos são importantes, principalmente na fase de elaboração de projeto, onde não se tem o projeto físico. Este valor auxilia na elaboração e dimensionamento do sistema de acionamento da válvula.

Outro fator importante foram os valores obtidos da pressão de contato entre a sede e a esfera. Verificou-se que o valor de (P1) é de 4,58 vezes a (PMT), e que a (P2) apresentou coeficiente de 9,53 vezes à baixa pressão (BP). O fator (FP2) apresenta maior valor que (FP1). Isto ocorre porque a força da mola presente no componente porta sede se torna mais evidente nestas condições. Essa definição de projeto é importante para que a válvula efetue a estanqueidade do fluido mesmo quando submetida à operação em baixa pressão e em fluidos gasosos.

A pressão de contato entre a sede e a esfera precisa apresentar maior valor do que a pressão de trabalho na qual a válvula será submetida para que ocorra a vedação do fluido. Também, a pressão de contato deve ser o suficiente para realizar a conformação da superfície da sede em material polimérico a rugosidade e a circularidade da esfera.

O limite da pressão de contato das sedes em material polimérico, em RPTFE, deve ser verificado por meio de ensaios de compressão com a sede alojada no componente porta sede. Nestes ensaios torna-se possível encontrar o valor de carga limite da sede.

O RPTFE possui características tais como: material anisotrópico, as suas propriedades dependem do seu processo de fabricação, a adição de cargas modifica sua resistência, a sede quando alojada em um canal no anel da sede, tem sua a resistência mecânica aumentada. Devido a estes fatores os limites das sedes devem ser conhecidos através de ensaios e não por meio de informações oriundas de fichas técnicas de material base, os quais apresentam valores genéricos provenientes de ensaios em corpos de prova normalizados. Para a aplicação em sedes de válvulas é indicado ensaios práticos em escala real para verificação dos limites destes componentes.

Quanto aos gráficos das assinaturas plotados em função do tempo no programa Elipse[®], os mesmos permitem o acompanhamento do ensaio em tempo real, deixando o processo passível de auditoria por terceira parte. Nesta etapa não se tem o conhecimento do comportamento dos pontos notáveis, e sim, uma visão geral do ensaio e se o mesmo está ocorrendo de forma adequada. Além disso, é possível verificar se todas as assinaturas estão sendo coletadas adequadamente.

Após a realização dos ensaios, foi possível utilizar os dados das assinaturas de pressão do atuador e torque na haste para a plotagem de forma gráfica com relação ao ângulo de posição da esfera, sendo 90 ° para válvula totalmente fechada e 0 ° para a válvula totalmente aberta.

Quanto aos ensaios em temperatura ambiente, verificou-se a estabilidade dos pontos notáveis e das assinaturas com flutuações consideradas aceitáveis. Verificou-se que o maior valor de torque é o (TRAC), sendo este o valor mais importante com relação aos esforços mecânicos gerados ao sistema de atuação da válvula.

Verificou-se que a capacidade de vedação das sedes a montante foram mantidas durante os ensaios, conforme apresenta a Figura 21(a), Figura 22(a) e Figura 23(a). Também, é possível verificar que entre as assinaturas iniciais e finais não apresentam diferenças significativas.

Constatou-se, ainda, que independentemente do número de ciclos realizados, sendo 2500 para o protótipo 1, 3000 para o protótipo 2 e 4000 para o protótipo 3, as deformações presentes nas sedes a montante são semelhantes. Verifica-se redução no valor da altura de controle a montante em média de 0,91 mm. Para a sede a jusante, a qual não recebe esforços da pressão do fluido, praticamente não se apresentaram deformações significativas, apenas uma redução média de 0,11 mm.

A partir disso, verificou-se que, em ensaios cíclicos de longa duração e em temperatura ambiente, a deformação e os desgastes nas sedes ocorrem de forma lenta e tende a se estabilizar. Verificou-se que, para as condições de testes empregadas, os ensaios em temperatura ambiente não representam as condições mais críticas de operação da válvula, mesmo os ensaios cíclicos sendo realizados com ΔP máximo no momento da abertura e do fechamento.

Para os ensaios à temperatura mínima de -18 °C, os dados se mostraram estáveis e semelhantes aos testes em temperatura ambiente. Foi possível identificar um comportamento semelhante entre os protótipos 4, 5 e 6, os quais foram ensaiados nestas condições.

Verificou-se, ainda, que não ocorre vazamento visível nas sedes a montante. Porém, em função da baixa temperatura, o material (RPTFE) das sedes se torna mais rígido e, em consequência disso, o desgaste e a deformação das sedes diminuem. Constatou-se diminuição na altura de controle em média 0,44 mm para as sedes a montante e 0,1 mm para as sedes a jusante. Essas deformações são os menores resultados se comparado com os testes em temperatura ambiente.

Um fator muito importante que deve ser ressaltado para estas condições foi o aumento nos valores de torques e, conseqüentemente, das pressões do atuador hidráulico para promover os acionamentos. Os ensaios em temperatura mínima apresentaram, em média, o valor de (TRAC) de 282 Nm, enquanto que, em temperatura ambiente apresentou em média 194 Nm. Essa diferença pode ser atribuída à rigidez do (RPTFE) que aumenta em baixas temperaturas.

Esse aumento de torque de aproximadamente 46% entre os ensaios em temperatura mínima e ambiente é relevante para o dimensionamento da válvula para a sua aplicação final. Este fato, se não for considerado na seleção da válvula para determinada aplicação, poderá gerar falhas em operação já que, muitas vezes, para minimizar custos, as válvulas e sistemas de atuação são dimensionados de forma justa para atender o (TNO) ou o (TRO). Porém, na prática, em aplicações em baixas temperaturas os valores de torques aumentam, e se o sistema de atuação não for preparado para esta situação poderá ocorrer que a válvula não feche ou não efetue a abertura no momento crucial da operação. Isto pode levar a falhas na operação e acidentes.

Os protótipos ensaiados a temperatura ambiente e mínima apresentaram pequenas diferença nos valores entre eles, embora os seis protótipos apresentaram comportamento considerado estável. Estas pequenas diferenças nos valores dos dados obtidos para cada protótipo podem estar relacionadas a diversos fatores como: material anisotrópico das sedes, as diferenças dimensionais de fabricação aceitáveis entre os protótipos, o uso de mola do atuador hidráulico e a incerteza de medições aceitáveis para os equipamentos utilizados.

Quanto aos ensaios em temperatura máxima de 120 °C, foram estes os que apresentaram as maiores oscilações nas assinaturas e, conseqüentemente, nos pontos notáveis. Para o protótipo 7, os pontos notáveis de pressão no atuador A2 e A3 acusaram queda abrupta no ciclo de 202. Quanto ao torque, também se verifica queda abrupta no (TRAC), ciclo 202. Os pontos notáveis indicam uma possível falha nestes ciclos que é confirmada na Figura 39(a), onde se verifica a perda da capacidade da válvula de manter a pressão a montante.

Também se verificou, conforme a Figura 39(b) e (c) que ocorre a queda nos valores das assinaturas finais se comparado com as iniciais. Isto ocorre em função da válvula perder a capacidade de vedação e não manter o delta de pressão máxima ao longo dos ciclos finais. Logo menores esforços são necessários para o acionamento da válvula. A falha é comprovada com a desmontagem da válvula e análise dos componentes. Verificou-se ruptura da banda de vedação da sede a montante conforme apresenta a Figura 42.

Quanto ao protótipo 8, este apresentou comportamento similar ao protótipo 7. Porém, a falha ocorre no ciclo de número 300. Verificou-se um aumento crescente nos valores de torque (TRAC) até a ocorrência da falha. Isto está relacionado à deformação localizada em região específica da sede a montante nestas condições, que gerou o aumento do atrito contra a esfera e, conseqüentemente, o aumento do torque. Para este caso, ocorreu a deformação excessiva na sede, na região denominada de *Crack-open*, o que gerou os maiores torques e maiores pressões de avanço do cilindro do atuador. Porém, essa deformação é combinada com a ruptura total da banda de vedação que ocorre no ciclo 300. A Figura 43 apresenta foto do anel porta sede a montante do protótipo 8 com a banda de vedação deformada e rompida.

Para o protótipo 9, ocorreu um comportamento similar aos protótipos anteriores, porém, a capacidade de vedação da válvula é mantida ao longo dos 324 ciclos realizados. Verificou-se um aumento nos valores dos pontos notáveis de avanço no atuador em (A3). Isto indica que algo está ocorrendo na válvula, solicitando maiores esforços para atuação. Também é notório o aumento dos valores de (TRAC) a partir do ciclo de número 216. Este valor passa a estabilizar a partir do ciclo 230 com torque na ordem de 254 Nm. Isto representou um aumento 40% do valor de torque (TRAC) apresentado de forma constante até o ciclo 200.

Porém, ao analisar o gráfico da Figura 41(a), verifica-se que a capacidade de vedação a montante da válvula é mantida apresentando algumas instabilidades a partir do ciclo 216.

Ao comparar as assinaturas sobrepostas conforme a Figura 41(b) e (c), verifica-se que as pressões de atuação do atuador e os valores de torque são maiores nas assinaturas finais, principalmente na região da abertura da válvula no (ΔP) máximo.

O protótipo 9 foi desmontado para análise dos componentes. Verificou-se, conforme a Figura 44, que ocorreu a deformação excessiva na região do *Crack-open*, principalmente no diâmetro externo da vedação, onde o excesso de material deformado provocou maior atrito entre sede e esfera gerando maior torque. Porém, no diâmetro interno da sede, verificou-se que uma pequena banda de vedação é mantida. Desta forma, não ocorreu a ruptura da vedação

por completo. Essa pequena banda de vedação foi capaz de manter a válvula vedando, mesmo com instabilidades ao longo dos ensaios cíclicos após a deformação da sede.

Com isso, verificam-se três condições de falha nas válvulas ensaiadas à temperatura máxima. Em primeiro lugar, ocorre o rompimento abrupto da banda de vedação no ciclo de 202. Para o segundo caso, ocorre a deformação contínua da banda de vedação na região do *Crack-open*, o que gera um aumento dos valores de torques de acionamento até a ocorrência da ruptura da banda de vedação, que ocorre no ciclo 300. Pode-se verificar, ainda, que a falha ocorrida no protótipo 8 é uma união dos comportamentos dos protótipos 7 e 9, pois ocorre a deformação e posteriormente a falha na sede. Para o protótipo 9 ocorre a deformação da sede na região do *Crack-open*, porém não ocorre o rompimento total da banda de vedação.

Verificou-se também que nos ciclos iniciais até aproximadamente 200, os protótipos apresentaram estabilidade nos restados, apresentando valores de (TRAC) menores se comparado com os resultados dos ensaios nas demais temperaturas.

Também, foi após os ensaios em temperatura máxima que as sedes apresentaram as maiores diferenças nas medições de altura de controle iniciais e finais. Em média, a altura de controle reduziu: 1,45 mm na sede a montante e 0,18 mm na sede a jusantes, conforme aparentado na Tabela 16.

Outro ponto relevante foi a região onde sempre ocorreu a degradação das sedes em (RPTFE). A posição denominada de *Crack-open*, onde o fluido escoava com maior velocidade devido à redução da passagem. Estas condições resultam em uma região mais suscetível aos rompimentos e deformações nas sedes poliméricas, conforme Figura 46.

Os protótipos ensaiados em temperatura máxima apresentaram semelhança na região da falha, porém com diferenças no número de ciclos que a falha ocorreu e na presença ou não de vazamento pela sede a montante. Isso se atribui à falha ocorrer em material polimérico anisotrópico que possui suas propriedades bastante alteradas nas condições do ensaio. Outro fator importante é que, apesar de os três protótipos serem idênticos, os desenhos de usinagem possuem tolerâncias de fabricação, que pode gerar pequenas mudanças de geometria aceitáveis entre os protótipos.

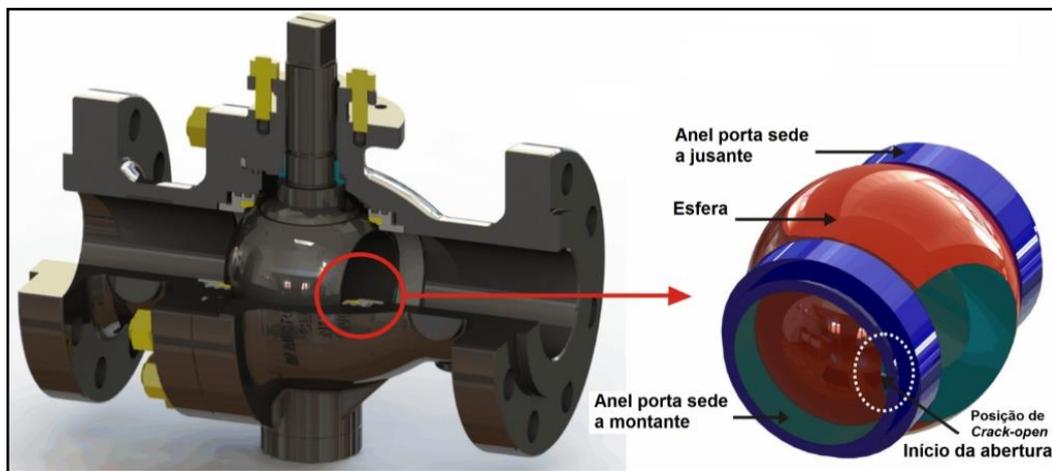
Verificou-se, também, que a condição de abertura da válvula no delta máximo de pressão é mais crítica do que o fechamento realizado na pressão máxima, pois, verificou-se que o maior torque e conseqüentemente maiores esforços ocorrem no momento da abertura.

O gráfico do tipo radar da Figura 47 apresenta a abrangência do funcionamento dos protótipos ensaiados de acordo com os resultados. A compreensão deste resumo ou o conhecimento da tendência do comportamento das válvulas devido às variáveis do processo,

torna-se de grande importância para que a válvula seja selecionada corretamente e instalada em sua aplicação final adequadamente. Este fator contribui para que, também, a válvula desempenhe sua função de forma satisfatória em linhas de produção, sem a presença de falhas, acidentes e/ou prejuízos nas instalações industriais.

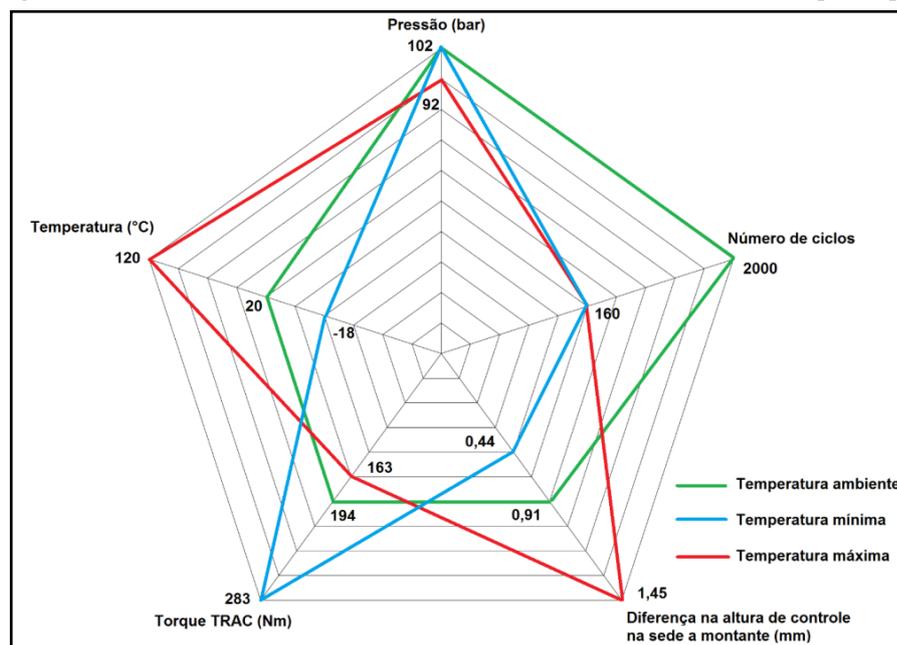
O gráfico apresentado na Figura 47, também pode ser utilizado como orientações para as realizações de manutenções, pois, caso o equipamento extrapolar algum limite apresentado, torna-se necessário a verificação do funcionamento da válvula e até mesmo a substituição das vedações dos equipamentos por elementos novos.

Figura 46 – Esboço da região de crack-open durante o início da abertura.



Fonte: Autor (2020).

Figura 47 – Gráfico radar elaborado com base nos resultados dos ensaios de protótipos.



Fonte: Autor (2020).

6 CONCLUSÃO

Ao analisar os pontos notáveis referentes ao torque pressão do atuador para todos os protótipos ensaiados, é possível verificar a estabilidade do comportamento do projeto bem como verificar possíveis presenças de falhas que podem estar ocorrendo. Dentre elas, pode-se destacar a diminuição ou aumento dos valores de pressão e torque que podem indicar possíveis problemas no funcionamento conjunto.

Quanto à assinatura de pressão a montante e a jusante, estas permitem verificar se a válvula mantém sua capacidade de vedação ao longo dos ensaios cíclicos.

A comprovação da falha é feita através de inspeção visual e dimensional, principalmente por meio da verificação da altura de controle e integridade da banda de vedação.

Com isso, conclui-se que os monitoramentos dos pontos notáveis permitem verificar se possíveis falhas estão ocorrendo no conjunto válvula e atuador. Além disso, o monitoramento das assinaturas de pressão a montante e a jusante permitem a verificação da presença de vazamentos nas sedes.

A partir disso, pode-se concluir que a metodologia deste trabalho pode ser utilizada para análise de protótipos em fase inicial, pré-fabricação e até mesmo no auxílio à realização de homologação de produto.

Quanto à homologação de produtos, parte da metodologia apresentada neste trabalho foi implementada em uma empresa fabricante de válvulas para a qualificação realizada por organismo de certificação e acreditação de produtos, o (INMETRO). A homologação realizada certificou o atendimento aos requisitos da norma ABNT NBR 15827 (2018) na íntegra, sendo a primeira certificação realizada neste segmento. No ANEXO C, apresenta-se o certificado de conformidade desta homologação.

Outra aplicação possível deste trabalho seria a adaptação para instrumentação e monitoramento em válvula instalada em campo em aplicações consideradas críticas. Para esta possibilidade, se a válvula a ser instrumentada apresenta histórico de falhas relacionadas às sistema de atuação, como, por exemplo, falhas no atuador, o uso do método dos pontos notáveis é indicado. Para aplicações em que o histórico de problemas esteja relacionado às falhas nas sedes, como, por exemplo, vazamentos de fluido, indica-se o monitoramento das assinaturas de pressão a montante e a jusante, ou, ainda, para casos onde a falha é desconhecida, pode-se realizar a instrumentação completa apresentada neste trabalho.

Outra contribuição relevante deste trabalho são as informações apresentadas quanto ao comportamento deste tipo de equipamento em função da temperatura de operação. Este conhecimento é relevante na seleção e dimensionamento da válvula para as aplicações. Desta forma pode-se prover a seleção do equipamento de forma correta para o atendimento as necessidades das aplicações.

Parte do presente trabalho relacionado aos ensaios em temperatura máxima foram abordados para a publicação de artigo no periódico *Engineering Failure Analysis*. Foram escolhidos os resultados obtidos nos ensaios em temperatura máxima por apresentarem as maiores flutuações nos pontos notáveis e por apresentarem falhas em determinado número de ciclos. O artigo é denominado *Identification of leakage in ball valves by analysis of pressure and torque signatures in cyclical tests under critical operating conditions*. Desta forma, realiza-se uma contribuição relevante com o setor acadêmico e aos estudiosos do tema (TELES, et al., 2020).

Por fim, conclui-se que o uso dos métodos apresentados neste estudo, quando combinados, são capazes de identificar falhas em válvulas do tipo esfera acionadas por atuadores hidráulicos do tipo *Scotch Yoke*. Para este tipo de equipamento, o principal modo de falha nas condições testadas mostrou ser a deformação plástica excessiva e a ruptura da banda de vedação das sedes confeccionadas em material polimérico quando submetidas a ensaios em altas temperaturas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, são sugeridos tópicos de estudos em continuidade a este trabalho que estão relacionados ao tema: válvulas industriais para instalações de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo.

- a) Realizar instrumentação e análise de dados de válvulas instaladas em campo em aplicações críticas de operação;
- b) Realizar estudo semelhante ao presente trabalho, porém, modificando os materiais das sedes das válvulas para outros compostos do grupo dos polímeros que também são amplamente utilizados na indústria do petróleo e gás, tais como: poliamida, (PCTFE) e o (PEEK). Também podem ser testados materiais novos para a fabricação das sedes e que até o momento ainda não são utilizados;
- c) Realizar estudo semelhante ao presente trabalho, porém, utilizando sedes do tipo (metal x metal), ou seja, as sedes são fabricadas em material metálico e possuem diferencial de dureza entre a esfera. Desta forma, pode-se realizar estudo do comportamento deste tipo de configuração de válvula que também possui uma ampla aplicação no setor de óleo e gás;
- d) Realizar estudos semelhantes em outros tamanhos de válvula com diâmetros nominais maiores variando também o conceito do sistema de vedação entre sede e esfera. O presente estudo apresentou resultados para válvula do tipo *trunnion* com sistema de anéis porta sede do tipo simples pistão efeito. Portanto, seria relevante o estudo para configuração de porta sedes do tipo duplo pistão efeito;
- e) Utilizar parte da metodologia apresentada nesta produção para homologação de outros projetos de válvulas de acordo com a validação do (INMETRO) e a norma (ABNT NBR 15827, 2018). Desta forma, assegura-se a confiabilidade dos equipamentos frente às diversas aplicações críticas de operação e contribuindo para maior segurança e eficiência no desempenho das válvulas nos processos industriais.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15827**: Válvulas industriais para instalação de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15827**: Válvulas industriais para instalação de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15827**: Válvulas industriais para instalação de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15827**: Válvulas industriais para instalação de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15827**: Válvulas industriais para instalação de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001**: Sistema de gestão da qualidade. Rio de Janeiro, 2015.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 598**: Valve Inspection and Testing. Washington, 2016.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 608**: Metal Ball Valves – Flanged, Threaded, and Welding Ends. Washington, 2012.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 6D**: Specification for Pipeline Valves. Washington, 2014.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 6DX**: Standard for Actuator Sizing and Mounting Kits for Pipeline Valves. Washington, 2012.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API SPECIFICATION Q1**: Specification for Quality Management System Requirements for Manufacturing Organizations for the Petroleum and Natural Gas Industry. Washington, 2014.

ASTM INTERNATIONAL - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A216/A216M-18**, Standard Specification for Steel Castings, Suitable for Fusion Welding, for High-Temperature Service. West Conshohocken, 2018.

ASTM INTERNATIONAL - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A217/A217M-20**, Standard Specification for Steel Castings, Martensitic Stainless and Alloy, for Pressure-Containing Parts, Suitable for High-Temperature Service. West Conshohocken, 2020.

ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

BOSCO, Flávio. Válvulas: NBR 15827 ganha nova versão, simplificada para impulsionar desenvolvimento tecnológico de fabricantes. **Petro & Química**. São Paulo, n. 331, p.18-23 2011.

BVAA, BRITISH VALVE & ACTUATOR ASSOCIATION. **The Valve e Actuator Users' Manual**. 6. Ed. Banbury: BVAA, 2010.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. ISBN 978-858-7918-970.

COSTA, M. L. O. **Estudo do Torque de Acionamento e Vida Útil de um Projeto de Válvulas Industriais**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2009.

CHERN, Ming-Jyh, WANG, Chin-Cheng, MA, Chen-Hsuan. Performance test and flow visualization of ball valve. **Experimental Thermal and Fluid Science**. 31 (2007) 505–512. [doi:10.1016/j.expthermflusci.2006.04.019](https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2006.04.019)

CHURM, Peter. Problems with valves? **The British Valve and Actuator Association BVAA - Valve User**. Oxford, Issue seven, p.10 2008.

CUI, Baoling, ZHE, Lin, ZHU, Zuchao, WANG, Huijie , MA, Guangfei. Influence of opening and closing process of ball valve on external performance and internal flow characteristics. **Experimental Thermal and Fluid Science**, 80 (2017) 193-202.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.08.022>

DICKENSON, T. C. **Valves, Piping and Pipelines Handbook**.3. Ed. New York: Elsevier Science Ltd, 1999.

D. Moses, G. Haider, J. Henshaw, 2019, An investigation of the failure of a 1/4" ball valve. **Engineering Failure Analysis**, 100 (2019) 393-405.

<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.047>

DuPont™ Teflon® PTFE 2891 A, Filled Compound Resin: Product Specification Wilmington, (2013).

EDNESAJJAD, S. **Fluoroplastics - Melt processible fluoropolymers - The Definitive User's Guide and Databook**. Norwich: Plastics Design Library, 2003.

EUTHYMÍOU, J. E. **Metodologia para Tetes Funcionais em Válvulas Submarinas**. 2001. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio de Janeiro, 2001.

EUTHYMÍOU, J. E. **Metodologia para Modelagem da Evolução da Probabilidade de Falha, Decorrente da Degradação funcional de Válvulas**. 2013. 253 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio de Janeiro, 2013.

FERREIRA, João Paulo B. C. C., MARTINS, Nuno M. C., COVAS, Dídia I. C. Ball Valve Behavior under Steady and Unsteady Conditions. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2018, 114 (4): 04018005. [DOI:10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001434](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001434).

FLOWERVE WORCESTER CONTROL VALVES. **Failure Analysis Of New Valves TP-12D-1**. Irving, 2003.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**.1. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

G. Romanik, P. Jaszak, J. Rogula, 2019, Cooperation of the PTFE sealing ring with the steel ball of the valve subjected to durability test, **Open Engineering**, 9 (2019) 321-328. <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0028>

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. ISBN 978-85-216-1584-2.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Assessment of valve failures in the offshore oil & gas sector**. Research Report: 162. PETERS, J.; TUV NEL Ltd. United Kindon, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7121**: Steel ball valves for general-purpose industrial applications. Geneva, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17292**: Metal ball valves for petroleum, petrochemical and allied industries. Geneva, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5208**: Industrial valves - Pressure testing of metallic valves. Geneva, 2015.

LAKATOS, E. M.; Marconi, M. A. **Metodologia Científica**. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 1992.

LYONS, J. L. **Lyons' Valve Designer's Handbook**. 1. Ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

MANUFACTURES STANDARDIZATION SOCIETY OF THE VALVE AND FITTING INDUSTRY. **MSS SP 134**: Valves for Cryogenic Service, including Requirements for Body/Bonnet Extensions. Vienna: MSS, 2012.

MATHIAS, A. C. **Válvulas: Industriais, segurança, controle: tipos, seleção, dimensionamento**. São Paulo: Artliber, 2008.

MICROMAZZA PMP LTDA. **Arquivos de Engenharia**. Vila Flores, 2020.

MASHIBA, M. H. S. **A Influência dos Parâmetros de Operação e Projeto no Desempenho de Atuação Hidráulica de Válvulas Submarinas do Tipo Gaveta**. 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica, Rio de Janeiro, 2011.

PEARSON, G. H. **Valve Design**. 1. Ed. London: Society of Automouive Engineers, 1972.

PORTARIA N.º272 INMETRO. **Requisito de Avaliação da Conformidade para Válvulas Industriais para Instalações de Exploração, Produção, Refino e Transporte de Produtos de Petróleo.** Rio de Janeiro: 2011.

PRAVEEN, Jvs, PATHAN, Mehboob, ANSARI, Khalid. Hyperbaric pressure testing of subsea valve to validate deep water condition. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)**. Vol. 8, Issue 2, Apr 2018, 1011 – 1022.

R. Mnif, M. C. Ben Jemaa, N. H. Kacem, R. Elleuch, 2013, Impact of Viscoelasticity on the Tribological Behavior of PTFE Composites for Valve Seals Application. **Tribology Transactions**, 56:5 (2013) 879 - 886. <https://doi.org/10.1080/10402004.2013.801099>

ROSSETTO, D. R. **Avaliação da Integridade Estrutural de Projetos de Válvulas do Tipo Esfera Trunnion e/ou Gaveta Utilizadas nas Instalações de Petróleo.** 2016. 177 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2016.

S. C. Jeeves, MRC Global Norway as, C. Berstad, M. B. Gjøvag, M. Ripple, M. Bjorøy, J. K. Sangolt, T. Erstad, University in Bergen Student, 2019, Predicting Valve Failures in the Digital Age of Valve Management. **Society of Petroleum Engineers**, (2019), SPE-197451-MS.

S. Bagherifard, I. Fernández Pariente, M. Guagliano, 2013, Failure analysis of a large ball valve for pipe-lines. **Engineering Failure Analysis**, 32 (2013) 167-177. <https://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.03.012>

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 1. Ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, O. J. L. **Válvulas Industriais.**2. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

T. Asim, R. Mishra, A. Oliveira, M. Charlton, 2019. Effects of the geometrical features of flow paths on the flow capacity of a control valve trim, **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 172 (2019) 124-138. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.09.050>

Teles, D. B.; Gouveia, S. M.; Clarke, T. G. R, 2020, Identification of leakage in ball valves by analysis of pressure and torque signatures in cyclical tests under critical operating conditions. **Engineering Failure Analysis**, 117 (2020) 104828. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104828>

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B16.5**: Pipe Flanges and Flanged Fittings. New York, 2017.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B16.10**: Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Valves. New York, 2017.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B16.34**: Valves Flanged, Threaded, and Welding End. New York, 2017.

VMA, VALVE MANUFACTURE ASSOCIATION OF AMERICA. **1938 - 2013 Commemorative Program (VMA) 75 Years**. Washington: VMA, 2013.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULOS

Tabela A1 – Cálculo do torque nominal de operação TNO.

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade	Referência
Diâmetro interno da sede	D1	83,29	mm	Projeto
Área de atuação da pressão sobre o anel porta sede	A1	2722,80	mm ²	Equação 1
Projeção do ângulo de contato entre sede esfera	G1	45,00	graus	Projeto
Altura do centro da passagem da válvula ao centro do mancal do eixo <i>trunnion</i>	H1	48,40	mm	Projeto
Altura do centro da passagem da válvula ao centro do mancal da haste	H2	76,00	mm	Projeto
Pressão máxima de trabalho PMT	PMT	10,21	MPa	Tabela 3
Torque de aperto nos fixadores do preme gaxeta. Modelo 7/16-14 UNC Quantidade de 2 fixadores.	Tp	15,00	Nm	Nota 1
Força no anel da sede em função da PMT	F1	27799,78	N	Nota 1
Força exercida pela mola	F2	2000,00	N	Nota 1
Força de atrito dos <i>o'rings</i> do anel da sede com pressão.	F3	112,10	N	Nota 1
Força de atrito dos <i>o'rings</i> do anel da sede sem pressão.	F3s	67,26	N	Nota 1
Força resultante no anel a montante com pressão	F4	29687,69	N	Equação 3
Força resultante no anel a jusante sem pressão	F5	1932,74	N	Equação 4
Força perpendicular no contato entre sede e esfera a montante com pressão	F6	15595,59	N	Equação 5
Força perpendicular no contato entre sede e esfera a jusante sem pressão	F7	1366,90	N	Equação 6
Força resultante na esfera da na direção montante para a jusante	F8	83383,96	N	Equação 7
Força de reação no mancal do eixo <i>trunnion</i>	F9	50941,97	N	Equação 8
Força de reação no mancal da haste	F10	32441,99	N	Equação 9
Força atuante no <i>o'ring</i> da haste	F11	67,26	N	Nota 1
Foças atuante nas gaxetas	F12	2,29	N	Nota 1.
Distâncias entre o centro de giro do eixo <i>trunnion</i> com o mancal autolubrificante	L1	12,50	mm	Projeto
Distâncias entre o centro de giro da haste com o contato entre sede e esfera	L2	41,50	mm	Projeto
Distâncias entre o centro de giro da haste com o mancal autolubrificante e as gaxetas	L3	17,50	mm	Projeto

Fonte: Autor (2020).

Tabela A1 – Cálculo do torque nominal de operação TNO, continuação.

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade	Referência
Coefficiente de atrito entre o RPTFE da sede com o aço da esfera	$\mu 1$	0,13	/	Teflon™ PTFE 2891 A (2013)
Coefficiente de atrito entre o mancal autolubrificante e o material do eixo <i>trunnion</i> e da haste	$\mu 2$	0,20	/	Grafimec (2011)
Torque com e relação a F6. Contato entre sede e esfera a montante.	T1	77,67	Nm	Equação 10
Torque com e relação a F7. Contato entre sede e esfera a jusante.	T2	61,8	Nm	Equação 11
Torque com e relação a F9. Contato da esfera com o mancal do eixo <i>trunnion</i> .	T3	127,35	Nm	Equação 12
Torque com e relação a F10. Contato da esfera com o mancal da haste.	T4	113,55	Nm	Equação 13
Torque com e relação a F11. Contato do <i>o'ring</i> da haste com o corpo da válvula	T5	10,00	Nm	Nota 1
Torque do contato das gaxetas com a haste da válvula	Tg	40,00	Nm	Nota 1
Torque nominal de operação TNO na PMT	TNO	214,14	Nm	Equação 14

Nota 1: Informações obtidas de testes práticos

Fonte: Autor (2020).

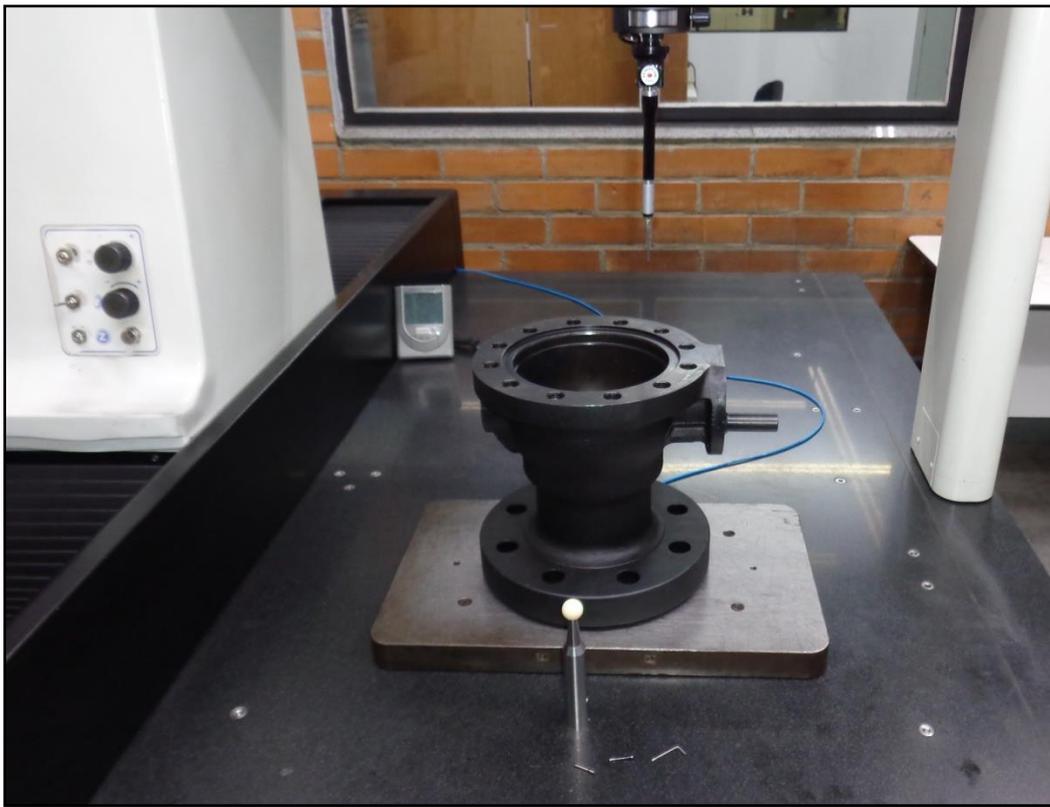
Tabela A2 – Cálculo da pressão de contato entre a sede e a esfera.

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade	Referência
Largura da pista de vedação da sede em contato com a esfera após montagem.	L4	1,70	mm	Projeto
Raio da esfera	R1	59,50	mm	Projeto
Área de contato entre sede e esfera após montagem	A2	635,54	mm ²	Equação 15
Pressão de contato entre sede e esfera na PMT	P1	46,71	MPa	Equação 16
Pressão de contato entre sede e esfera na BP	P2	5,72	MPa	Equação 17
Fator com relacionado à P1 e a PMT	Fator FP1	4,58	/	Projeto
Fator com relacionado à P2 e a BP	Fator FP2	9,53	/	Projeto

Fonte: Autor (2020).

APÊNDICE B – FOTOS DOS PROTÓTIPOS, COMPONENTES E ENSAIOS

Figura B1 – Foto da inspeção dimensional do corpo do protótipo.



Fonte: Autor (2020).

Figura B2 – Foto da montagem do protótipo.



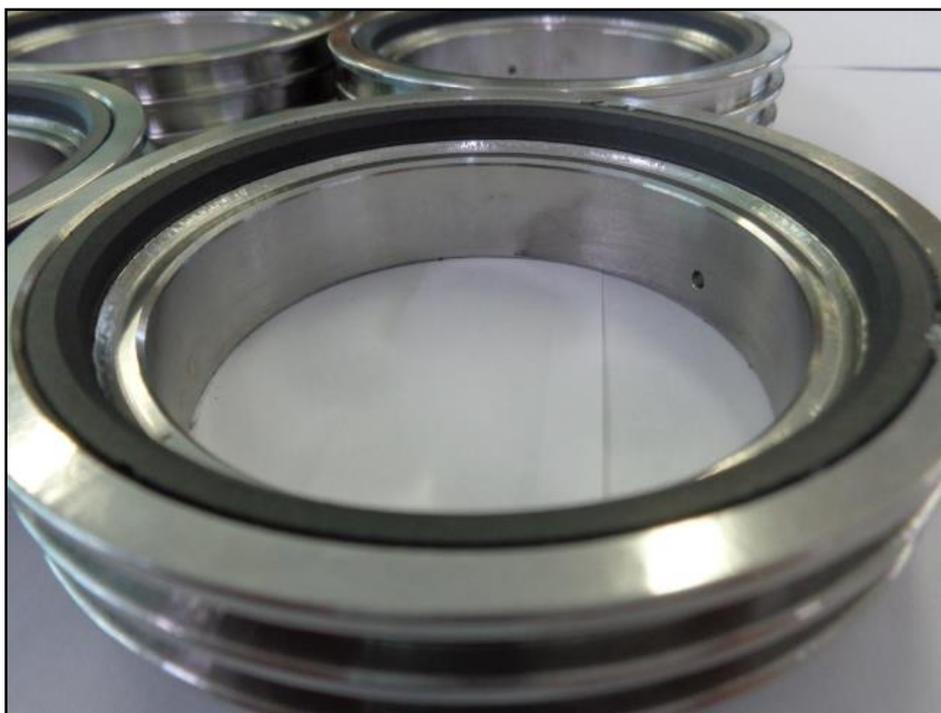
Fonte: Autor (2020).

Figura B3 – Foto do lote de porta sedes fabricadas para os protótipos.



Fonte: Autor (2020).

Figura B4 – Foto de anel porta sede. Verifica-se a banda de vedação da sede antes dos ensaios.



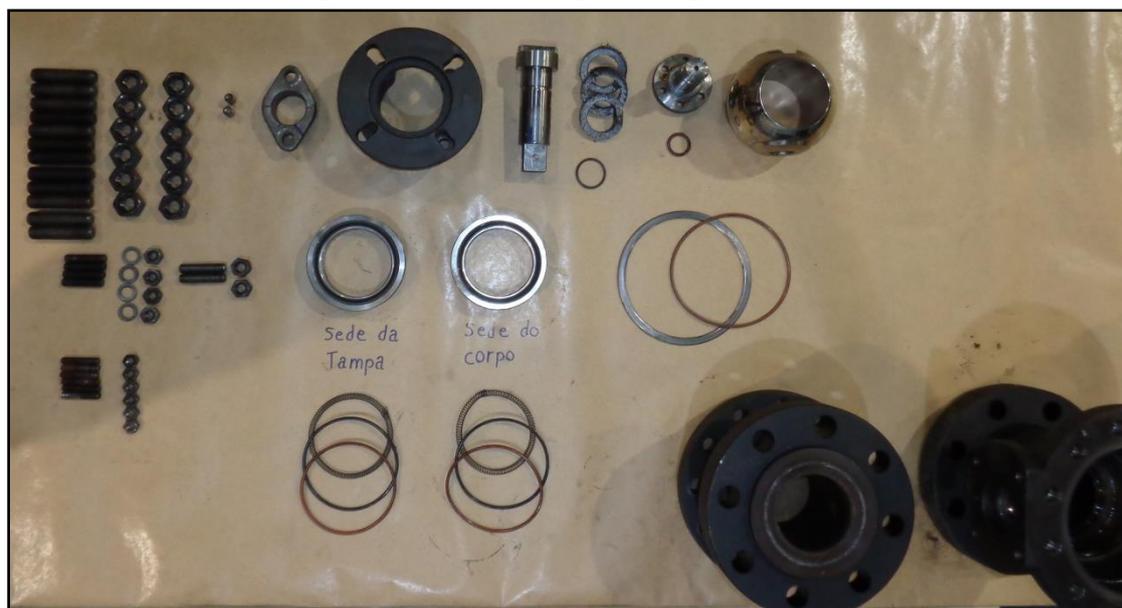
Fonte: Autor (2020).

Figura B5 – Foto do ensaio de aceitação em fábrica. Fase anterior aos ensaios cíclicos.



Fonte: Autor (2020).

Figura B6 – Foto dos componentes após os ensaios.



Fonte: Autor (2020).

ANEXO A – DESENHO DE VÁLVULA PROTÓTIPO NPS 3 CL600

PROZ.	DE NOMINAÇÃO	MATERIAL
01	CORPO	ASTM A 216 GR WCB
02	MOLA SÉRIE	INCONEL 750
03	O'RING	VTON
04	BILÃO DEIXAVADO	ASTM A 105
05	PARAFUSO ALLEN C/CAB.	ASTM A 183 GR B7
06	JUNTA ESPIRALADA	304 + GRAFITE
07	O'RING	VTON
08	MANCAL AUTOLUB.	AÇO CARBONO
09	EXD TRUNNON	ASTM A 217 GR CA15
10	O'RING	VTON
11	JUNTA ESPIRALADA	304 + GRAFITE
12	TAMPA	ASTM A 216 GR WCB
13	PREKINERO	ASTM A 183 GR B7
14	PORCA DEIXAVADA	ASTM A 194 GR 2H
15	ANEL DA SEDE	ASTM A 217 GR CA15
16	ESPELA	ASTM A 217 GR CA15
17	SETE	P.T.F.E. 4- CARBONO
18	HASTE	ASTM A 217 GR CA15
19	MANCAL AUTOLUB.	AÇO CARBONO
20	PRDME GAUÇA	ASTM A 216 GR WCB
21	PORCA DEIXAVADA	ASTM A 194 GR 2H
22	PREKINERO	ASTM A 183 GR B7
23	AMPIADOR	SAE 1020
24	PARAFUSO DEIXAVADO	SAE 1045
25	CONTINPORCA	SAE 1045
26	LIMITADOR	SAE 1045
27	PORCA STUB ACME	SAE 1020
28	TAMPA POSTERIOR	SAE 1020
29	MOLA	SAE 5160
30	CONJ. RETENOR MOLA	ASTM A 106
31	FLANGE DA MOLA	SAE 1020
32	BUCHA AUTOLUB.	AÇO CARBONO
33	JUNTA	ACRANTE
34	HASTE	SAE 4140
35	CAHA	SAE 1020
36	TAMPA ANTERIOR	SAE 1020
37	BUCHA AUTOLUB.	AÇO CARBONO
38	HASTE	SAE 4140
39	CLAVIRO	ASTM A 106
40	CINZA DE P.T.F.E.	P.T.F.E.
41	PESTO	SAE 1020
42	TAMPA POSTERIOR	SAE 1020
43	PORCA DEIXAVADA	ASTM A 194 GR 2H
44	PREKINERO	ASTM A 183 GR B7
45	LIMITADOR	SAE 1045
46	SUPORTE	SAE 1020
47	CHAVETA	SAE 1045
48	SAETA	GRAFITE C/ FIBRA DE INCONEL
49	O'RING	VTON
50	MICROCHAVETA	ANSI 316
51	MOLA ESPIRAL	ANSI 302

NOTAS:

- 1-NORMA DE CONSTRUÇÃO: API 6D, ANSI/ASME B16.34, NBR;
- 2-FACE-A-FACE: ASME/ANSI B16.10, PADRÃO LONGO;
- 3-EXTREMIDADES: FLANGES RF CL600 CONF. ASME/ANSI B16.5, FACE C/RESSALTO ACAB. DA FACE RANHURAS CONCENTRICAS 125-250µin, CONF. MSS SP-6;
- 4-NORMA DE TESTE: API 6D, ISO 5208, API 598;
- 5-ATUADOR HIDRAULICO WENMAZZA MOD.: WA2C-SE-101-04 - API 6DX.

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO	ELABORADO	VERIFICADO	APROVADO
TIPO:	ESTRUTURA	ELABORADO:	ESMAEL	DATA:	24/06/19
VERIFICADO:	DIÓGENES	DATA:	24/06/19		
DENOMINAÇÃO:			VÁL. ESF. BIP. TRUN. NPS 3" RF CL600 SÉRIE-253 ATUADA		
CÓDIGO DA PEÇA:			99.272105-11.0705		
REVISÃO:	MATERIAL:	ESCALA:	TOLERÂNCIA NÃO INDICADAS:	UNIDADE:	APROVADO:
00	WCB/CA15	S/E	s/T	mm	MARIANO
DATA DE APROVAÇÃO:					24/06/19
CÓDIGO DO DESENHO:					0600080-1505

MICROMAZZA
válvulas industriais

Fonte: (Micromazza, 2020).

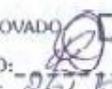
ANEXO B – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE TESTE

Figura B1 – Certificado de calibração do transdutor de pressão utilizado a montante da válvula.

ABS		Service Comércio de Instrumentação Ltda.			
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO ABSI Nº CAL - 16583018 ABSI LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO E ENSAIO Laboratório de Calibração Acreditado pela CGCRE de acordo com a ADNT NDR ISO / IEC 17025, sob o Nº CAL 0055				Fl. 1/1	
DATA DA CALIBRAÇÃO: 19/10/2018		DATA DA EMISSÃO DO CERTIFICADO: 19/10/2018			
CLIENTE:	MICROMAZZA PMP LTDA				
ENDEREÇO:	ROD RST 470, KM 168 1040 - VILA FLORES/RS				
SOLICITANTE:	O MESMO				
ENDEREÇO:	O MESMO				
INSTRUMENTO:	TRANSDUTOR DE PRESSÃO	FABRICANTE:	DANFOSS		
MODELO:	MBS 1750	FAIXA DE INDICAÇÃO:	0 a 400 bar		
Nº DE SÉRIE:	20348221	FAIXA CALIBRADA:	0 a 400 bar (4 - 20 mA)		
Nº DE IDENTIFICAÇÃO:	TP-001				
ORDEM DE SERVIÇO:	3701-18				
PROCEDIMENTO:	ARSI-RO-17 (edição.1 / rev.3); ABSI-RO-16 (edição.1 / rev.5);				
PADRÕES UTILIZADOS:	Balança de Pressão BAL - 1035/16 - ABSI (Validade 10/05/2021), com incerteza de $\pm 0,011\%$, Multímetro 0040/17 - Detro Forma Ltda (Validade 10/03/2019), com incerteza de $\pm 0,00281\%$.				
CONDIÇÕES AMBIENTAIS: A calibração foi realizada nas instalações da ABSI com o instrumento na sua posição de utilização a uma temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50\% \pm 20\%$ e gravidade local de $9,7864384 \text{ m/s}^2$. O instrumento permaneceu sobre pressão máxima de aproximadamente 5 minutos para estabilidade do sistema de calibração.					
PRESSÃO DE REFERÊNCIA UNIDADES		VALOR INDICADO mA			
SI MPa	INSTR. bar	PRIMEIRO CICLO		SEGUNDO CICLO	
		Carrego	Descarrego	Carrego	Descarrego
0,00	0	4,009	4,005	4,011	4,011
4,00	40	5,597	5,595	5,596	5,592
8,00	80	7,188	7,184	7,189	7,183
12,00	120	8,782	8,779	8,784	8,781
16,00	160	10,377	10,375	10,379	10,377
20,00	200	11,979	11,978	11,982	11,981
24,00	240	13,580	13,577	13,581	13,578
28,00	280	15,188	15,193	15,201	15,194
32,00	320	16,810	16,803	16,810	16,811
36,00	360	18,421	18,418	18,423	18,420
40,00	400	20,030	20,030	20,032	20,032
CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS APRESENTADAS EM RELAÇÃO A AMPLITUDE DA FAIXA DE CALIBRAÇÃO: (%) INCERTEZA DE MEDIÇÃO: 0,0175 mA CURVA DE CALIBRAÇÃO: $Y = 3,92545 + 0,040072 \cdot X$ COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO: 0,999995					
OBSERVAÇÃO: 1) 1 MPa = 1,000000 x 10 ¹ bar (MPa = megapascal, unidade de pressão SI) 2) O Multímetro utilizado para a calibração pertence a ABCL. 3) A validade do ensaio do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema de qualidade de acordo com a norma NDR ISO 10.012 2004. 4) A incerteza expandida de medição relatada e declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 %. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02. 5) Comprimento do cabo = 80 cm 6) Pressão atmosférica em 19/10/2018 = 931,00 mbar					
 Augusto V. R. de Carvalho Signatário Autorizado				ANÁLISE DE RESULTADOS CONTROLE DE CALIBRAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO VISTO: DATA: 19/10/18	
Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE que avaliou a competência do laboratório e comprometeu sua rastreabilidade e a conformidade em relação à estabilidade. Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica.					
Os resultados apresentados no presente documento tem significação restrita e se aplicam somente ao instrumento calibrado. A utilização dos mesmos para fins promocionais depende de prévia autorização da ABSI. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.					
Rua General Leacor, 979 - CEP 04213-021 - Fone: (55) 11 2273 1341 Fone/Fax: (55) 11 2914-2239 - Ipiranga - São Paulo - S.C.N.P.J. 45.542.129/0001-02 - Insc. Est. 100.242.940.115 - e-mail: absi@absi.com.br - Home Page: www.absi.com.br					

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B2 – Certificado de calibração do transdutor de pressão utilizado a jusante da válvula.

ABS		Service Comércio de Instrumentação Ltda.			
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO ABSI Nº CAL - 165634/18 ABSI LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO E ENSAIO Laboratório de Calibração Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO / IEC 17025, sob o Nº CAL 0056				FL 1/1	
DATA DA CALIBRAÇÃO: 19/10/2018		DATA DA EMISSÃO DO CERTIFICADO: 19/10/2018			
CLIENTE:	MICROMAZZA PMP LTDA				
ENDEREÇO:	ROD RST 470, KM 168 1040 - VILA FLORES/RS				
SOLICITANTE:	O MESMO				
ENDEREÇO:	O MESMO				
INSTRUMENTO:	TRANSDUTOR DE PRESSÃO	FABRICANTE:	DANFOSS		
MODELO:	MBS 1750	FAIXA DE INDICAÇÃO:	0 a 400 bar		
Nº DE SÉRIE:	82020105	FAIXA CALIBRADA:	0 a 200 bar (4 - 20 mA)		
Nº DE IDENTIFICAÇÃO:	1P-002				
ORDEM DE SERVIÇO:	3701-18				
PROCEDIMENTO:	ABSI-RO-17 (edição.1 / rev.3); ABSI-RO-16 (edição.1 / rev.5);				
PADRÕES UTILIZADOS:	Balança de Pressão RAI - 1035/16 - ABSI (Validade 16/08/2021), com incerteza de $\pm 0,011\%$. Multímetro 6046/17 - Metro Forma Ltda (Validade 16/03/2019), com incerteza de $\pm 0,0025\text{mA}$.				
CONDIÇÕES AMBIENTAIS: A calibração foi realizada nas instalações da ABSI com o instrumento na sua posição de utilização e uma temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50\% \pm 20\%$ e gravidade local de $9,7864384\text{ m/s}^2$. O instrumento permaneceu sobre pressão máxima de aproximadamente 5 minutos para estabilidade do sistema de calibração.					
PRESSÃO DE REFERÊNCIA UNIDADES		VALOR INDICADO mA			
SI MPa	INSTR bar	PRIMEIRO CICLO		SEGUNDO CICLO	
		Carrego	Descarrego	Carrego	Descarrego
0,00	0	4,130	4,120	4,132	4,128
2,00	20	5,718	5,717	5,718	5,715
4,00	40	7,304	7,302	7,302	7,300
6,00	60	8,895	8,893	8,894	8,892
8,00	80	10,478	10,475	10,477	10,475
10,00	100	12,065	12,064	12,065	12,063
12,00	120	13,651	13,650	13,658	13,656
14,00	140	15,236	15,236	15,285	15,283
16,00	160	16,824	16,801	16,892	16,890
18,00	180	18,402	18,199	18,190	18,187
20,00	200	20,089	20,099	20,097	20,097
CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS APRESENTADAS EM RELAÇÃO A AMPLITUDE DA FAIXA DE CALIBRAÇÃO: (%) INCERTEZA DE MEDIÇÃO: 0,0135 mA CURVA DE CALIBRAÇÃO: $Y = 4,109773 + 0,079852 \cdot X$ COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO: 0,999997					
OBSERVAÇÃO: 1) 1 MPa = 10.000.000 x 10 ¹ bar (MPa = megapascal, unidade de pressão SI) 2) O Multímetro utilizado para a calibração pertence a ABSI 3) A validade do ensaio do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema de qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012:2004. 4) A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k = 2, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02. 5) Comprimento do cabo = 80 cm 6) Pressão atmosférica em 19/10/2018 = 930,90 mbar					
 Augusto V. R. de Carvalho Signatário Autorizado				ANÁLISE DE RESULTADOS CONTROLE DE CALIBRAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO VISTO:  DATA: 20/10/2018	
Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. Esta calibração não isenta o instrumento do controle metroológico estabelecido na regulamentação metroológica.					
Os resultados apresentados no presente documento tem significação restrita e se aplicam somente ao instrumento calibrado. A utilização dos mesmos para fins promocionais depende de prévia autorização da ABSI. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.					
Rua General Lecor, 979 - CEP 04213-021 - Fone: (55) 11 2273-1341 - Fone/Fax: (55) 11 2914-2233 - Ipiranga - São Paulo - SP C.N.P.J. 46.642.123/0001-92 - Insc. Est. 109.242.940.115 - e-mail: absi@absi.com.br - Home Page: www.absi.com.br					

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B3 – Certificado de calibração do transdutor de pressão utilizado no atuador hidráulico.

ABSi		Service Comércio de Instrumentação Ltda.			
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO ABSI N° CAL - 154462/18 ABSI LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO E ENSAIO Laboratório de Calibração Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO / IEC 17025, sob o N° CAL 0056				Fl. 1/1	
DATA DA CALIBRAÇÃO: 19/09/2018		DATA DA EMISSÃO DO CERTIFICADO: 19/09/2018			
CLIENTE:	MICROMAZZA-PMP LTDA				
ENDEREÇO:	ROD RST 470, KM 168 1040 - VILA FLORES/RS				
SOLICITANTE:	O MESMO				
ENDEREÇO:	O MESMO				
INSTRUMENTO:	TRANSDUTOR DE PRESSÃO	FABRICANTE:	DANFOSS		
MODELO:	MBS 1750	FAIXA DE INDICAÇÃO:	0 a 400 bar (4 - 20 mA)		
N° DE SÉRIE:	20345221	FAIXA CALIBRADA:	0 a 400 bar (4 - 20 mA)		
N° DE IDENTIFICAÇÃO:	TP 003				
ORDEM DE SERVIÇO:	3329-18				
PROCEDIMENTO:	ABSI-RO-17 (edição.1 / rev.3); ABSI-RO-16 (edição.1 / rev.5);				
PADRÕES UTILIZADOS:	Balança de Pressão BAL - 1029/16 - ABSI (Validade 30/05/2021), com incerteza de $\pm 0,01\%$. Multímetro N° 0058/18 - Eletro Forma Ltda (Validade 02/10/2019), com incerteza de $\pm 0,0022\text{mA}$.				
CONDIÇÕES AMBIENTAIS: A calibração foi realizada nas instalações da ABSI com o instrumento na sua posição de utilização a uma temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50\% \pm 20\%$ e gravidade local de $9,7864384 \text{ m/s}^2$. O instrumento permaneceu sobre pressão máxima de aproximadamente 5 minutos para estabilidade do sistema de calibração.					
PRESSÃO DE REFERÊNCIA UNIDADES		VALOR INDICADO mA			
SI MPa	INSTR. bar	PRIMEIRO CICLO		SEGUNDO CICLO	
		Carrego	Descarrego	Carrego	Descarrego
0,00	0	4,000	3,996	3,999	3,998
4,00	40	5,579	5,580	5,578	5,583
8,00	80	7,165	7,163	7,164	7,163
12,00	120	8,755	8,752	8,753	8,751
16,00	160	10,343	10,345	10,341	10,345
20,00	200	11,940	11,938	11,942	11,938
24,00	240	13,540	13,533	13,541	13,535
28,00	280	15,152	15,147	15,152	15,147
32,00	320	16,740	16,736	16,740	16,736
36,00	360	18,347	18,343	18,347	18,343
40,00	400	19,954	19,954	19,955	19,955

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS APRESENTADAS EM RELAÇÃO A AMPLITUDE DA FAIXA DE CALIBRAÇÃO: (%)

INCERTEZA DE MEDIÇÃO: 0,0156 mA CURVA DE CALIBRAÇÃO: $Y = 3,975386 + 0,039898 \cdot X$

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO: 0,999997

OBSERVAÇÃO:

- 1) 1 MPa = $1,000000 \times 10^6$ bar (MPa = megapascal, unidade de pressão SI).
- 2) O Multímetro utilizado para a calibração pertence a ABSI.
- 3) A validade do ensaio do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012 2004.
- 4) A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- 5) Comprimento do cabo = 80 cm
- 6) Pressão atmosférica em 19/09/2018 = 929,60 mbar

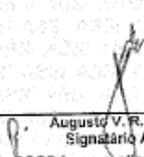
ANÁLISE DE RESULTADOS
CONTROLE DE CALIBRAÇÃO

APROVADO REPROVADO

VISTO: *Augusto V. R. de Carvalho*

DATA: 19/09/2018

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
 MICROMAZZA / WENMAZZA


 Augusto V. R. de Carvalho
 Signatário Autorizado

Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCR, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
 Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica.

Os resultados apresentados no presente documento tem significação restrita e se aplicam somente ao instrumento calibrado. A utilização dos mesmos para fins promocionais depende de prévia autorização da ABSI. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Rua General Lecor, 979 - CEP 04213-021 - Fone: (55) 11 2273-1341 - Fone/Fax: (55) 11 2914-2233 - Ipiranga - São Paulo - SP
 C.N.P.J. 01.944.840/0001-75 - Insc. Est. 148.966.634.114 - e-mail: absi@absi.com.br - Home Page: www.absi.com.br

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B4 – Certificado de calibração do transdutor de torque utilizado na haste da válvula, folha 1/3.

 <p>INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS</p>		1/3
<p>Laboratório de Metrologia Mecânica / CTMetro / IPT</p>		
<p>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 153 798-101</p>		
<p>Cliente:</p>	<p>Micromazza PMP Ltda. Rod. RST 470 - km 168, 1040 CEP 95334-000 - Vila Flores - RS</p>	
<p>Item: Transdutor de Torque Referência: pedido 9 914/16</p>		
<p>DESCRIÇÃO DO ITEM</p>	<p>Transdutor HBM Identificação: CEG 005 N° de série: # 154012046 Modelo: T40 Faixa nominal: 500 N.m</p>	
<p>INFORMAÇÕES PERTINENTES À CALIBRAÇÃO</p>		
<ul style="list-style-type: none"> No item resultados deste documento, a incerteza expandida de medição relatada U é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2,00$ o qual, para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos $\nu_{eff} = \infty$, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. Calibração efetuada conforme procedimento interno CTMetro-LMM-PC-F01/9, baseado na(s) norma(s) ABNT NBR 12240. Padrões utilizados: LMM-CAT-003; Cert. IPT 17 236-204; Valid. 30/11/2019. LMM-CPP-002; Cert. IPT 19 332-204; Valid. 31/07/2018. LMM-CPP-004; Cert. IPT 152 531-101; Valid. 31/07/2018. LMM-MUL-008; Cert. IPT 153 645-101; Valid. 30/08/2018. Este certificado atende os requisitos de acreditação da Cgcre que avaliou a competência do Laboratório e comprovou sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades - SI. Data da calibração: 14/09/2016 Temperatura ambiente: $(21,0 \pm 3,0) ^\circ\text{C}$ Umidade relativa do ar: $(50 \pm 20) \%$ Pressão atmosférica: $(930 \pm 20) \text{ hPa}$ 		
<p>São Paulo, 14 de setembro de 2016.</p>		
<p>CENTRO DE METROLOGIA MECÂNICA, ELÉTRICA E DE FLUÍDOS Laboratório de Metrologia Mecânica Tecn. Mec. Carlos Alberto Fabrield Junior Supervisor da Calibração CREA n° 5063038069 - RE n° 8718.8</p>	<p>CENTRO DE METROLOGIA MECÂNICA, ELÉTRICA E DE FLUÍDOS Laboratório de Metrologia Mecânica Tecn. Mec. Dr. Manuel Antonio Pires Castanho Chefe do Laboratório CREA n° 186.075/D - RE n° 7502.8</p>	
<p>Os resultados apresentados neste documento só aplicam-se ao item e ao valor avaliado do calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.</p>		
<p>Av. prof. Almeida Prado, 532 - Botafogo São Paulo - SP 05508-901 Tel. 11 - 3747-4020 Fax 11 - 3747-4092 ipt@ipt.br</p>		
		<p>www.ipt.br</p>

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B5 – Certificado de calibração do transdutor de torque utilizado na haste da válvula, folha 2/3.



ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLOGICAS

2/3

Certificado de Calibração n° 153 798-101

Laboratório de Metrologia Mecânica / CTMetro / IPT
Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 003.

RESULTADOS

Faixa nominal: (500) N.m, sentido horário

Torque aplicado (N.m)	b/Y (%)	b/Y (%)	h/Y (%)	la/Y (%)
0	-	-	-	-
50	0,512	0,000	-0,102	0,118
100	0,511	0,204	0,153	-0,029
150	0,443	0,204	0,102	-0,015
200	0,409	0,179	0,051	-0,031
250	0,368	0,163	0,061	-0,019
300	0,221	0,017	0,085	0,026
350	0,219	0,015	0,073	0,008
400	0,191	0,026	0,051	0,012
450	0,181	0,023	0,034	-0,001
500	0,143	0,041		-0,008

Varição de zero: 0,020 %.

- Classificação segundo ABNT NBR 12240:
Classe 0,2 de 400 N.m até 500 N.m
Classe 0,5 de 150 N.m até 500 N.m
Classe 1 de 50 N.m até 500 N.m

**ANÁLISE DE RESULTADOS
CONTROLE DE CALIBRAÇÃO**

APROVADO REPROVADO

VISTO: *[Assinatura]*

DATA: 23/03/2016

EZEQUIEL LORENZET
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
MICROMAZZA / WENMAZZA

Torque aplicado (N.m)	Valor medido		U (N.m)
	média I'1,I'2,I'3 crescente (V)	média I'1,I'2,I'3 decrecente (V)	
0	0,000	0,001	-
50	0,999	0,998	0,16
100	1,999	1,999	0,33
150	3,001	3,002	0,43
200	4,001	4,007	0,53
250	5,003	5,006	0,60
300	6,007	6,004	0,41
350	7,007	7,004	0,47
400	8,009	8,006	0,48
450	9,009	9,007	0,51
500	10,010		0,48

- Valores calculados através da equação: $E = A.T^2 + B.T + C$, sendo T o torque em N.m
- Onde: A= -2,14174E-08 C= -4,58532E-03
 B= 2,04770E-02 E= Indicação no aparelho

Fluência de curta duração: 0,000 %.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item avaliado ou calibrado.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita autorizada, sem nenhuma alteração.

Av. Prof. Américo Pinho, 512 - Barro Preto
Bairro Galvão - CEP 41568-001
Tel: (51) 3367-5600 Fax: (51) 3367-6002 - www.ipt.br

www.ipt.br

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B6 – Certificado de calibração do transdutor de torque utilizado na haste da válvula, folha 3/3.

3/3

ipt INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

Certificado de Calibração nº 153 798-101

Laboratório de Metrologia Mecânica / CTMetro / IPT
Laboratório de Calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 003.

Faixa nominal: (500) N.m, sentido anti-horário

Torque aplicado (N.m)	b/Y (%)	b/Y (%)	h/Y (%)	fa/Y (%)
0	-	-	-	-
50	-0,716	-0,102	0,000	0,031
100	-0,307	-0,102	-0,102	0,000
150	-0,204	-0,034	-0,034	-0,010
200	-0,128	0,000	0,000	-0,007
250	-0,102	0,000	-0,020	-0,005
300	-0,068	-0,017	0,000	0,001
350	-0,058	0,000	0,015	0,009
400	-0,064	0,000	0,000	0,000
450	-0,068	-0,011	0,000	0,002
500	-0,061	0,000	-	-0,004

Variação de zero: 0,000 %.

- Classificação segundo NBR 12240:
Classe 0,1 de 300 N.m até 500 N.m
Classe 0,2 de 200 N.m até 500 N.m
Classe 0,5 de 100 N.m até 500 N.m
Classe 1 de 50 N.m até 500 N.m

Torque aplicado (N.m)	Valor medido		U (N.m)
	média I1,I2,I3 crescente (V)	média I'1,I'2,I'3 decrecente (V)	
0	0,000	0,000	-
50	-0,999	-1,000	0,22
100	-2,000	-2,002	0,20
150	-3,001	-3,002	0,20
200	-4,003	-4,003	0,17
250	-5,004	-5,005	0,18
300	-6,006	-6,006	0,17
350	-7,007	-7,007	0,19
400	-8,008	-8,008	0,22
450	-9,009	-9,010	0,25
500	-10,010	-	0,27

**ANÁLISE DE RESULTADOS
CONTROLE DE CALIBRAÇÃO**

APROVADO REPROVADO

VISTO: *[Assinatura]*

DATA: 23/03/2016

EZEQUIEL LORENZET
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
MICROMAZZA WENMAZZA

- Valores calculados através da equação: $E = A.T^2 + B.T + C$, sendo T o torque em N.m
- Onde:

A= 6,86974E-09	C= 2,71202E-03
B= -2,04662E-02	E= Indicação no aparelho

Fluência de curta duração: 0,000 %.

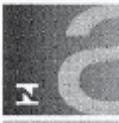
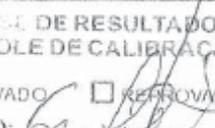
Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome da marca IPT para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução neste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

[Assinatura]

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Ribeirão
São Paulo - SP - 05508-900
T: 11 3757-4000 Fax: 11 3757-4002 ipt@ipt.br

www.ipt.br

Figura B7 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição interna, folha 1/3.

LABELO/PUCRS  PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul LABELO - Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica Calibração e Ensaios Rede Brasileira de Calibração	Página 1 de 3 Calibração NBR ISO/IEC 17025  CAL 0024
Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.		
Certificado de Calibração		N° T0291/2016
Período da calibração: 19/02/2016 a 22/02/2016 Data da emissão do certificado: 22/02/2016		
Cliente: Micromazza - Pmp Ltda. Rodovia Rsc 470 Km 168, N° 1040. - Vila Flores - RS	ANALISE DE RESULTADO CONTROLE DE CALIBRAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO VISTO:  DATA: 26/02/2016 EZEQUIEL LORENZET SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE MICROMAZZA / WENMAZZA	
Características da Unidade de Medição sob Teste (UST):		
Nome: Termoresistência Fabricante: Não Identificado Modelo: PT 100	Protocolo: C16911 N° de Série: NII IND 092 TAG: IND 092	
Comprimento do Sensor: 50mm Diâmetro do Sensor: 4mm		
Procedimento(s) de Calibração Utilizado(s):	PC: 6.01.02 - Revisão: 8	
Método: Comparação com padrão de referência em meio termostático.		
Padrão(ões) Utilizado(s):		
<ul style="list-style-type: none"> • Incoterm 7664.01.0.00 - Certificado de Calibração n° T1017/2015 do LABELO - Válido até 08/2016 • ISOTECH 670SH - Certificado de Calibração n° 1895/2015 do ECIL - Válido até 04/2016 • Fluke 5699 - Certificado de Calibração n° 2756/2014 da ECIL - Válido até 08/2016 • Hart Scientific 1575 - Certificado de Calibração n° E0479/2015 do LABELO - Válido até 04/2016 • IET Labs SRL-25 - Certificado de Calibração n° 1531/2015 do INMETRO - Válido até 08/2020 Observação: Padrões rastreados aos padrões primários nacionais e internacionais.		
Observações:		
<ul style="list-style-type: none"> • Os resultados da calibração estão contidos em tabelas anexas, que relacionam os valores indicados pelo instrumento sob teste, com valores obtidos através da comparação com os padrões e as incertezas estimadas da medição (IM). • A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência "k", para uma distribuição de probabilidade tipo t-Student, com graus de liberdade efetivos (v_{eff}) correspondentes a um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com o "Guia para Expressão da Incerteza de Medição", Terceira Edição Brasileira. 		
Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@puhrs.br – www.labelo.com.br		
- 3 -	Form 51001 - rev. 00	

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B8 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição interna, folha 2/3.

VR UMP (°C)	MM UST (W_{90})	EM UST (°C)	IM (°C)	k	V_{eff}
0,00	0,999960	0,00	0,03	2,00	∞
-28,87	0,886974	0,08	0,04	2,00	∞
20,01	1,077147	-0,20	0,04	2,00	∞
239,05	1,893735	-2,05	0,07	2,02	148

**ANÁLISE DE RESULTADOS
CONTROLE DE CALIBRAÇÃO**

APROVADO REPROVADO

VISTO: *[Assinatura]*

DATA: 26/02/2016

EZEQUIEL LENZET
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
MICROMAZZA WENMAZZA

Observações:

- O termoresistor foi calibrado pelo método de comparação em banhos termostáticos. As medições foram realizadas usando-se uma ponte DC, em corrente de 1mA, obtendo-se razões de resistência, $W_{90} = R_x/R_{pTa}$, para cada temperatura determinada pelo padrão. Onde R_x é o valor de resistência medido em uma determinada temperatura, e R_{pTa} é o valor de resistência medido no ponto triplo da água (0,01°C). O valor de R_{pTa} também é obtido dividindo-se o valor de resistência medido no ponto de gelo (0,00°C) por 0,99996.
- O valor de resistência para uma determinada temperatura é obtido multiplicando-se o valor de W_{90} , no valor de temperatura desejado, pelo último valor de resistência medido no ponto triplo da água.
- As medições realizadas estão de acordo com as normas NBR 13773:1997 e Guidelines for Realizing the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) do NIST em sua Technical Note 1265.
- Variação do valor de R_{pTa} durante a calibração: 0,013°C.
- Último valor de resistência medido em $R_0(0,00°C)$: 100,2406 ohms.
- Último valor de resistência medido convertido para o ponto triplo da água (0,01°C): 100,2446 ohms.
- Primeiro valor de resistência medido em $R_0(0,00°C)$: 100,2353 ohms.
- Profundidade de imersão de pelo menos: 45mm.

Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil
Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@puccrs.br – www.labelo.com.br

Form51001 - rev. 00

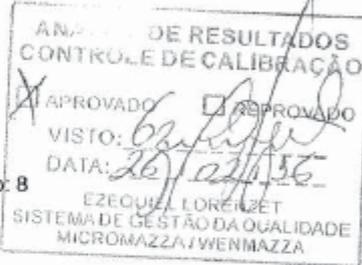
Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B9 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição interna, folha 3/3.

LABELO/PUCRS		Página 3 de 3	
Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.			
Certificado de Calibração		N° T0291/2016	
Termoresistência - Não Identificado - PT 100 - NI IND 092 - TAG: IND 092			
		Período da calibração:	19/02/2016 a 22/02/2016
		Data da emissão do certificado:	22/02/2016
Convenções:			
UMP	— Unidade de medição padrão.		
UST	— Unidade de medição sob teste (em calibração).		
VR (Unidade da Grandeza)	— Valor de referência da grandeza.		
MM (Unidade da Grandeza)	— Resultado obtido da média aritmética das medidas calculadas a partir da unidade de medição sob teste.		
IM (Unidade da Grandeza)	— Incerteza da medição, caracterizando a faixa de valores dentro da qual se encontra o valor verdadeiro convencional da grandeza de medição padrão.		
EM (Unidade da Grandeza)	— Erro médio sistemático do equipamento em relação a tabela de referência normalizada.		
Para os valores de graus de liberdade efetivos (v_{eff}) calculados acima de 10.000 assume-se ∞ .			
Condições Ambientais:		Temperatura: $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ Umidade Relativa: $55\%ur \pm 10\%ur$	
		ANÁLISE DE RESULTADOS CONTROLE DE CALIBRAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO VISTO: <i>[Assinatura]</i> DATA: 20/10/2016 EZEQUIEL LORENZET SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE MICROMAZZA / WENMAZZA	
<ul style="list-style-type: none"> • Este Certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre que avaliou a competência do Laboratório e comprovou sua rastreabilidade a Padrões Nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). • Os resultados deste Certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. • Calibração realizada nas instalações do LABELO. • O Certificado de Calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização. • Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica. • A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation). • A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAAC (InterAmerican Accreditation Cooperation). • Executor(es) da calibração: Luiz Henrique Chrusciel 			
MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032		<small>Assinado de forma digital por MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032 DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Secretaria de Receita Federal do Brasil - RFB, ou=RFB e-CP A3, ou=VIEGAS, ou=AR CERTIFIC, ou=MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032 Dados: 2016.02.22 16:19:16 -03'00'</small>	
Eng. Marcus Vinicius Viegas Pinto Signatário Autorizado			
Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br			
Form 51001 - rev. 00			

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B10 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição externa, folha 1/3.

LABELO/PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul LABELO - Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica Calibração e Ensaios Rede Brasileira de Calibração	Página 1 de 3 Calibração NBR ISO/IEC 17025  CAL 0024
 PUCRS	Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.	
Certificado de Calibração		N° T0293/2016
		Período da calibração: 22/02/2016 a 22/02/2016 Data da emissão do certificado: 22/02/2016
Cliente: Micromazza - Pmp Ltda. Rodovia Rsc 470 Km 168, N° 1040. - Vila Flores - RS		
Características da Unidade de Medição sob Teste (UST):		
Nome: Termoresistência Fabricante: Não Identificado Modelo: PT 100	Protocolo: C16912 N° de Série: NI IND 093 TAG: IND 093	
Comprimento do Sensor: 50mm Diâmetro do Sensor: 5mm		
Procedimento(s) de Calibração Utilizado(s):		PC: 6.01.02 - Revisão: 8
Método: Comparação com padrão de referência em meio termostático.		
Padrão(ões) Utilizado(s):		
<ul style="list-style-type: none"> · Incoterm 7664.01.0.00 - Certificado de Calibração n° T1017/2015 do LABELO - Válido até 08/2016 · ISOTECH 670SH - Certificado de Calibração n° 1895/2015 do ECIL - Válido até 04/2016 · Fluke 5699 - Certificado de Calibração n° 2756/2014 da ECIL - Válido até 08/2016 · Hart Scientific 1575 - Certificado de Calibração n° E0479/2015 do LABELO - Válido até 04/2016 · IET Labs SRL-25 - Certificado de Calibração n° 1531/2015 do INMETRO - Válido até 08/2020 Observação: Padrões rastreados aos padrões primários nacionais e internacionais.		
Observações:		
<ul style="list-style-type: none"> • Os resultados da calibração estão contidos em tabelas anexas, que relacionam os valores indicados pelo instrumento sob teste, com valores obtidos através da comparação com os padrões e as incertezas estimadas da medição (IM). • A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência "k", para uma distribuição de probabilidade tipo t-Student, com graus de liberdade efetivos (v_{eff}) correspondentes a um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com o "Guia para Expressão da Incerteza de Medição", Terceira Edição Brasileira. 		
Av. Ipiranga n° 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br		
Form 51001 - rev. 00		

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B11 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição externa, folha 2/3.

LABELO/PUCRS	Página 2 de 3				
<i>Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.</i>					
Certificado de Calibração				N° T0293/2016	
Termoresistência - Não Identificado - PT 100 - NI IND 093 - TAG: IND 093					
				Período da calibração: 22/02/2016 a 22/02/2016	
				Data da emissão do certificado: 22/02/2016	
Resultado(s) da Calibração:					
Temperatura					
VR UMP (°C)	MM UST (W_{90})	EM UST (°C)	IM (°C)	k	v_{eff}
0,00	0,999960	0,00	0,09	2,00	∞
-28,87	0,886831	0,05	0,08	2,00	∞
20,01	1,077210	-0,18	0,1	2,00	∞
239,03	1,894823	-1,74	0,18	2,00	6.342



Observações:

- O termoresistor foi calibrado pelo método de comparação em banhos termostáticos. As medições foram realizadas usando-se uma ponte DC, em corrente de 1mA, obtendo-se razões de resistência, $W_{90} = R_x/R_{pTa}$, para cada temperatura determinada pelo padrão. Onde R_x é o valor de resistência medido em uma determinada temperatura, e R_{pTa} é o valor de resistência medido no ponto triplo da água (0,01 °C). O valor de R_{pTa} também é obtido dividindo-se o valor de resistência medido no ponto de gelo (0,00 °C) por 0,99996.
- O valor de resistência para uma determinada temperatura é obtido multiplicando-se o valor de W_{90} , no valor de temperatura desejado, pelo último valor de resistência medido no ponto triplo da água.
- As medições realizadas estão de acordo com as normas NBR 13773:1997 e Guidelines for Realizing the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) do NIST em sua Technical Note 1265.
- Variação do valor de R_{pTa} durante a calibração: 0,072 °C.
- Último valor de resistência medido em $R_0(0,00 °C)$: 100,3172 ohms.
- Último valor de resistência medido convertido para o ponto triplo da água (0,01 °C): 100,3212 ohms.
- Primeiro valor de resistência medido em $R_0(0,00 °C)$: 100,2883 ohms.
- Profundidade de imersão de pelo menos: 45mm.

Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil
 Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br

Form S1001 - rev. 00

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B12 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição do fluido do atuador, folha 1/3.

LABELO/PUCRS		Página 3 de 3	
Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.			
Certificado de Calibração		N° T0293/2016	
Termoresistência - Não Identificado - PT 100 - NI IND 093 - TAG: IND 093			
		Período da calibração:	22/02/2016 a 22/02/2016
		Data da emissão do certificado:	22/02/2016
Convenções:			
UMP	— Unidade de medição padrão.		
UST	— Unidade de medição sob teste (em calibração).		
VR (Unidade da Grandeza)	— Valor de referência da grandeza.		
MM (Unidade da Grandeza)	— Resultado obtido da média aritmética das medidas calculadas a partir da unidade de medição sob teste.		
IM (Unidade da Grandeza)	— Incerteza da medição, caracterizando a faixa de valores dentro da qual se encontra o valor verdadeiro convencional da grandeza de medição padrão.		
EM (Unidade da Grandeza)	— Erro médio sistemático do equipamento em relação a tabela de referência normalizada.		
Para os valores de graus de liberdade efetivos (v_{eff}) calculados acima de 10.000 assume-se ∞ .			
Condições Ambientais:	Temperatura: 23 °C ± 3 °C Umidade Relativa: 55%ur ± 10%ur		
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">ANÁLISE DE RESULTADOS CONTROLE DE CALIBRAÇÃO</p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO VISTO: <i>[Assinatura]</i> DATA: 26/02/16 </p> <p style="text-align: center;">EZEQUIEL DORAZZI SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE METROMAZZA LUDWIG MAZZA</p> </div>		
<ul style="list-style-type: none"> • Este Certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre que avaliou a competência do Laboratório e comprovou sua rastreabilidade a Padrões Nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). • Os resultados deste Certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. • Calibração realizada nas instalações do LABELO. • O Certificado de Calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização. • Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica. • A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation). • A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAAC (InterAmerican Accreditation Cooperation). • Executor(es) da calibração: Luiz Henrique Chrusciel 			
MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032		<small>Assinado de forma digital por MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032 DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, ou=RFB e-CPF A3, ou=VALID, ou=AI CEBRIS C, cn=MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032 Data: 2016.02.22 16:12:09 -05'00'</small>	
Eng. Marcus Vinicius Viegas Pinto Signatário Autorizado			
Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3863 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br			
Form 51001 - rev. 00			

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B13 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição do fluido do atuador, folha 1/3.

LABELO/PUCRS  PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul LABELO - Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica Calibração e Ensaio Rede Brasileira de Calibração Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.	Página 1 de 3 Calibração NBR ISO/IEC 17025  CAL 0024
Certificado de Calibração N° T0292/2016		
Período da calibração: 19/02/2016 a 22/02/2016 Data da emissão do certificado: 22/02/2016		
Cliente: Micromazza - Pmp Ltda. Rodovia Rsc 470 Km 168, N° 1040. - Vila Flores - RS		
Características da Unidade de Medição sob Teste (UST):		
Nome: Termoresistência Fabricante: Não Identificado Modelo: PT 100	Protocolo: C16910 N° de Série: NI IND 094 TAG: IND 094	
Comprimento do Sensor: 30mm Diâmetro do Sensor: 6mm		
Procedimento(s) de Calibração Utilizado(s):	PC: 6.01.02 - Revisão: 8	
Método: Comparação com padrão de referência em meio termostático.		
Padrão(ões) Utilizado(s): <ul style="list-style-type: none"> · Incoterm 7664.01.0.00 - Certificado de Calibração n° T1017/2015 do LABELO - Válido até 08/2016 · ISOTECH 670SH - Certificado de Calibração n° 1895/2015 do ECIL - Válido até 04/2016 · Fluke 5699 - Certificado de Calibração n° 2756/2014 da ECIL - Válido até 08/2016 · Hart Scientific 1575 - Certificado de Calibração n° E0479/2015 do LABELO - Válido até 04/2016 · IET Labs SRL-25 - Certificado de Calibração n° 1531/2015 do INMETRO - Válido até 08/2020 Observação: Padrões rastreados aos padrões primários nacionais e internacionais.		
Observações: <ul style="list-style-type: none"> • Os resultados da calibração estão contidos em tabelas anexas, que relacionam os valores indicados pelo instrumento sob teste, com valores obtidos através da comparação com os padrões e as incertezas estimadas da medição (IM). • A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência "k", para uma distribuição de probabilidade tipo t-Student, com graus de liberdade efetivos (v_{eff}) correspondentes a um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com o "Guia para Expressão da Incerteza de Medição", Terceira Edição Brasileira. 		
Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br		
Form 51001 - rev. 00		

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B14 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição do fluido do atuador, folha 2/3.

LABELO/PUCRS	Página 2 de 3																														
Laboratório de Calibração Acreditado pelo Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.																															
Certificado de Calibração	N° T0292/2016																														
Termoresistência - Não Identificado - PT 100 - NI IND 094 - TAG: IND 094																															
Período da calibração: 19/02/2016 a 22/02/2016																															
Data da emissão do certificado: 22/02/2016																															
Resultado(s) da Calibração:																															
Temperatura																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>VR UMP (°C)</th> <th>MM UST (W_{ISO})</th> <th>EM UST (°C)</th> <th>IM (°C)</th> <th>k</th> <th>v_{eff}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,00</td> <td>0,999960</td> <td>0,00</td> <td>0,42</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>-28,87</td> <td>0,885989</td> <td>-0,17</td> <td>0,37</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>20,01</td> <td>1,075659</td> <td>-0,58</td> <td>0,46</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>239,04</td> <td>1,876274</td> <td>-6,85</td> <td>0,84</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> </tbody> </table>		VR UMP (°C)	MM UST (W_{ISO})	EM UST (°C)	IM (°C)	k	v_{eff}	0,00	0,999960	0,00	0,42	2,00	∞	-28,87	0,885989	-0,17	0,37	2,00	∞	20,01	1,075659	-0,58	0,46	2,00	∞	239,04	1,876274	-6,85	0,84	2,00	∞
VR UMP (°C)	MM UST (W_{ISO})	EM UST (°C)	IM (°C)	k	v_{eff}																										
0,00	0,999960	0,00	0,42	2,00	∞																										
-28,87	0,885989	-0,17	0,37	2,00	∞																										
20,01	1,075659	-0,58	0,46	2,00	∞																										
239,04	1,876274	-6,85	0,84	2,00	∞																										
Observações:																															
<ol style="list-style-type: none"> O termoresistor foi calibrado pelo método de comparação em banhos termostáticos. As medições foram realizadas usando-se uma ponte DC, em corrente de 1mA, obtendo-se razões de resistência, $W_{ISO} = R_x/R_{pTa}$, para cada temperatura determinada pelo padrão. Onde R_x é o valor de resistência medido em uma determinada temperatura, e R_{pTa} é o valor de resistência medido no ponto triplo da água (0,01 °C). O valor de R_{pTa} também é obtido dividindo-se o valor de resistência medido no ponto de gelo (0,00 °C) por 0,99996. O valor de resistência para uma determinada temperatura é obtido multiplicando-se o valor de W_{ISO}, no valor de temperatura desejado, pelo último valor de resistência medido no ponto triplo da água. As medições realizadas estão de acordo com as normas NBR 13773:1997 e Guidelines for <i>Realizing the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)</i> do NIST em sua <i>Technical Note 1265</i>. Variação do valor de R_{pTa} durante a calibração: 0,360 °C. Último valor de resistência medido em $R_0(0,00 °C)$: 100,0352 ohms. Último valor de resistência medido convertido para o ponto triplo da água (0,01 °C): 100,0392 ohms. Primeiro valor de resistência medido em $R_0(0,00 °C)$: 100,1792 ohms. Profundidade de imersão : Completa. 																															
Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Ponto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br																															
Form 51001 - rev. 00																															

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B15 – Certificado de calibração do sensor de temperatura de medição do fluido do atuador, folha 3/3.

LABELO/PUCRS	Página 3 de 3
Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0024.	
Certificado de Calibração	N° T0292/2016
Termoresistência - Não Identificado - PT 100 - NI IND 094 - TAG: IND 094	
Período da calibração: 19/02/2016 a 22/02/2016	
Data da emissão do certificado: 22/02/2016	
Convenções:	
UMP	— Unidade de medição padrão.
UST	— Unidade de medição sob teste (em calibração).
VR (Unidade da Grandeza)	— Valor de referência da grandeza.
MM (Unidade da Grandeza)	— Resultado obtido da média aritmética das medidas calculadas a partir da unidade de medição sob teste.
IM (Unidade da Grandeza)	— Incerteza da medição, caracterizando a faixa de valores dentro da qual se encontra o valor verdadeiro convencional da grandeza de medição padrão.
EM (Unidade da Grandeza)	— Erro médio sistemático do equipamento em relação a tabela de referência normalizada.
Para os valores de graus de liberdade efetivos (v_{eff}) calculados acima de 10.000 assume-se ∞ .	
Condições Ambientais:	<p style="text-align: center;">Temperatura: 23°C ± 3°C Umidade Relativa: 55%ur ± 10%ur</p>
<p>ANÁLISE DE RESULTADOS CONTROLE DE CALIBRAÇÃO</p> <p><input type="checkbox"/> APROVADO <input checked="" type="checkbox"/> REPROVADO</p> <p>VISTO: <i>[Assinatura]</i> DATA: 20/02/16</p> <p>EZEQUIAS LORENTE SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE MICROMAZZA WENIMAZZA</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Este Certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre que avaliou a competência do Laboratório e comprovou sua rastreabilidade a Padrões Nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). • Os resultados deste Certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. • Calibração realizada nas instalações do LABELO. • O Certificado de Calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização. • Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica. • A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation). • A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAAC (InterAmerican Accreditation Cooperation). • Executor(es) da calibração: Luiz Henrique Chrusciel 	
<p>MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032</p>	<p>Assinado de forma digital por MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032 DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Secretaria de Receita Federal do Brasil - SRF, ou=RECEITA FEDERAL DO BRASIL, ou=ARCECTEC, ou=MARCUS VINICIUS VIEGAS PINTO:00581905032 Dados: 2016.02.22 16:11:26 -03'00'</p>
<p>Eng. Marcus Vinicius Viegas Pinto Signatário Autorizado</p>	
<p>Av. Ipiranga nº 6681, Prédio 30 Bloco A, Sala 210 – Partenon – CEP 90619-900 – Porto Alegre-RS – Brasil Telefone: (51) 3320 3551 – Fax: (51) 3320 3883 – labelo@pucrs.br – www.labelo.com.br</p>	
Form 51001 - rev. 00	

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B16 – Certificado de calibração da Máquina de Medição por Coordenadas, folha 1/4.

 Mitutoyo Sul Americana Ltda.	LABORATÓRIO DE METROLOGIA REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO No. 00332/20	Calibração NBR ISO/IEC 17025  CAL 0031
Cliente : MICROMAZZA INDUSTRIA DE VALVULAS LTDA Endereço : Estrada BR - 470, Nº 1.040 - Km 168 - Vila Flores - RS - CEP - 95334-000		
Ordem de Serviço : 051.276/001		
I. Objeto Calibrado :		
Máquina de Medição por Coordenadas Fabricante : Renishaw MMC Modelo : CRT-PM7106 No de Série : BH000073 / Código : 196-487 Identif. do Cliente: MT-001 Faixa Nominal : 700 x 1000 x 600 mm Contador Digital / Controlador Modelo : UD1 No Série : 13541466 Resolução : 0,0005 mm Cabeçote Modelo : PH1 No Série : 0N2512 Probe Modelo : TP2 No Série : 1L2724 Rack Modelo : 0 No Série : 0 Programa de Medição Programa : GEOPAK WIN Versão : V2.4 R14 Dongle No. : 8-5542616		
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ANÁLISE DE RESULTADOS CONTROLE DE CALIBRAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO VISTO:  DATA: 30/02/20 SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE MICROMAZZA/WENMAZZA </div>
II. Notas:		
<ol style="list-style-type: none"> 1. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com V_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. 2. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02. 3. Erro = Diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência. 4. Os sinais dos resultados tem o mesmo sentido das indicações positivas e negativas do sistema de coordenadas da máquina. 5. A máquina foi calibrada conforme Procedimento PML-0030 revisão 4. 6. Condição ambiental: Temperatura ambiente: (20,8 ± 0,5)°C 7. Endereço e local da calibração são os mesmos. 		
III. Padrões utilizados :		
Padrão Escalonado No Série : 13021 Certificado No : 06302 Emitido em : 13/11/2019 Validade : 05/2020	Termômetro No Série : HKSBKA015 Certificado No : T0184/2019 Emitido em : 26/07/2019 Validade : 07/2021	Esfera Padrão No Série : P-328 Certificado No : 3457/2018 Emitido em : 28/09/2019 Validade : 09/2021
Data da Calibração : Data da Emissão :	11 de dezembro de 2019 22 de janeiro de 2020	 Cláudio Bueno de Moraes Signatário Autorizado
Pag: 1 / 4		
<small>Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidade - SI). A reprodução deste certificado só poderá ser total e depende de aprovação por escrito da Mitutoyo. Os resultados deste Certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo estensivo a qualquer lote.</small>		
<small>Endereço: Rod. Inácio Tibiriçá, 1555 - Bairro Raffo - CEP: 08620-000 - Suzano - SP - Tel.: (11) 4746-5858 - E-mail: suzano@mitutoyo.com.br Laboratório: Tel.: (11) 4746-5950 - E-mail: metrologia@mitutoyo.com.br Assistência Técnica Interna: Tel.: (11) 4746-5957 - E-mail: assistec@mitutoyo.com.br Assistência Técnica Externa: Tel.: (11) 5643-0026 - E-mail: ate@mitutoyo.com.br</small>		

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura B17 – Certificado de calibração da Máquina de Medição por Coordenadas, folha 2/4.

Mitutoyo
Mitutoyo Sul Americana Ltda.

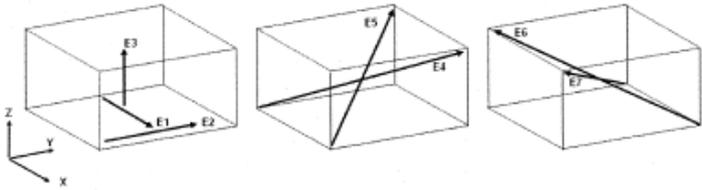
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO No. 00332/20
REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o numero CAL 0031

IV. Resultado das Medições :

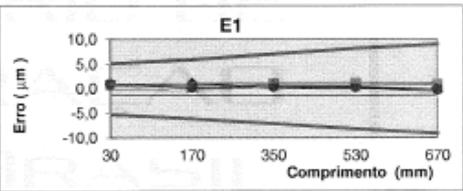
4.1. Verificações iniciais do equipamento :
a . Movimento da Máquina : OK
b . Condições da área de Medição : OK
c . Avaliação do Sist. Pneumático : OK
d . Limpeza das superfícies de ref. : OK

4.2. Resultado da Medição:



4.2.1. Resultado da medição do eixo " X ", (E1)

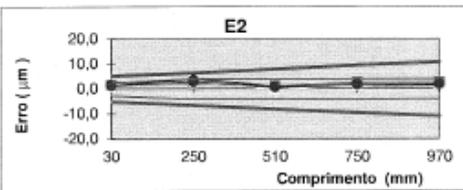
Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	1,0	0,8	1,1	1,0
170	1,2	0,2	-0,2	0,4
350	0,3	1,1	0,0	0,5
530	0,4	1,2	-0,3	0,4
670	-0,6	0,9	-0,7	-0,1



Incerteza de medição expandida (U) = (1,0 + L/1700) μm , onde: L = comprimento em " mm ".
Fator de abrangência (k) = 2,05
Graus de liberdade (Veff) = 56

4.2.2. Resultado da medição do eixo" Y ", (E2)

Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	1,5	1,8	0,6	1,3
250	4,0	2,1	2,7	2,9
510	1,1	1,4	-0,4	0,7
750	1,4	2,7	1,3	1,8
970	1,4	2,7	1,9	2,0



Incerteza de medição expandida (U) = (1,3 + L/2300) μm , onde: L = comprimento em " mm ".
Fator de abrangência (k) = 2,05
Graus de liberdade (Veff) = 48

Pag.: 2 / 4



Endereço: Rod. Indio Tibiriça, 1555 - Bairro Raffle - CEP: 08620-000 - Suzano - SP - Tel.: (11) 4746-5858 - E-mail: suzano@mitutoyo.com.br
Laboratório: Tel.: (11) 4746-5950 - E-mail: metrologia@mitutoyo.com.br
Assistência Técnica Interna: Tel.: (11) 4746-5957 - E-mail: assistec@mitutoyo.com.br
Assistência Técnica Externa: Tel.: (11) 5643-0026 - E-mail: ate@mitutoyo.com.br

Figura B18 – Certificado de calibração da Máquina de Medição por Coordenadas, folha 3/4.

Mitutoyo

Mitutoyo Sul Americana Ltda.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO No. 00332/20

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0031

**ANÁLISE DE RESULTADOS
CONTROLE DE CALIBRAÇÃO**

APROVADO REPROVADO

VISTO: _____

DATA: 10/10/18

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
MICROMAZZANENIAZZA

4.2.3. Resultado da medição do eixo " Z ", (E3)

Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	1,0	0,2	1,6	0,9
150	1,9	-0,8	0,8	0,6
310	1,6	0,9	2,7	1,7
450	1,6	0,3	-1,2	0,2
570	-1,3	-0,1	0,2	-0,4

Incerteza de medição expandida (U) = $(2,0 + L/2300) \mu\text{m}$, onde: L = comprimento em " mm " .
Fator de abrangência (k) = 2,28
Graus de liberdade (Veff) = 11

4.2.4. Resultado da medição do volume, (E4)

Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	-0,4	0,1	1,3	0,3
110	3,2	1,3	-1,7	0,9
410	0,0	-2,3	-0,9	-1,1
710	-3,2	-4,1	-2,6	-3,3
1010	-0,4	-1,4	0,0	-0,6

Incerteza expandida de medição (U) = $(2,2 + L/3000) \mu\text{m}$, onde: L = comprimento em " mm " .
Fator de abrangência (k) = 2,18
Graus de liberdade (Veff) = 16

4.2.5. Resultado da medição do volume, (E5)

Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	0,4	-0,2	1,1	0,4
110	0,3	0,7	2,0	1,0
410	-2,0	-2,6	-2,4	-2,3
710	-2,9	-2,3	-1,6	-2,3
1010	-1,8	-0,7	0,5	-0,7

Incerteza de medição expandida (U) = $(1,2 + L/1900) \mu\text{m}$, onde: L = comprimento em " mm " .
Fator de abrangência (k) = 2,04
Graus de liberdade (Veff) = 70

Pag.: 3 / 4

Endereço: Rod. Indio Tibiriçá, 1555 - Bairro Raffle - CEP: 08620-000 - Suzano - SP - Tel.: (11) 4746-5858 - E-mail: suzano@mitutoyo.com.br
Laboratório: Tel.: (11) 4746-5950 - E-mail: metrologia@mitutoyo.com.br
Assistência Técnica Interna: Tel.: (11) 4746-5957 - E-mail: assistec@mitutoyo.com.br
Assistência Técnica Externa: Tel.: (11) 5643-0026 - E-mail: ate@mitutoyo.com.br

Figura B19 – Certificado de calibração da Máquina de Medição por Coordenadas, folha 4/4.

Mitutoyo

Mitutoyo Sul Americana Ltda.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO No. 00332/20

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0031

4.2.6. Resultado da medição do volume, (E6)

Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	1,9	0,3	0,6	0,9
110	1,4	1,2	2,0	1,5
410	2,9	0,8	1,6	1,8
710	3,8	1,9	4,5	3,4
1010	5,0	3,4	1,2	3,2

Incerteza de medição expandida (U) = (2,1 +L/3000) μm , onde: L = comprimento em " mm " .
 Fator de abrangência (k) = 2,14
 Graus de liberdade (Veff) = 19

4.2.7. Resultado da medição do volume, (E7)

Comprimento (L) (mm)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
30	1,8	0,6	2,1	1,5
110	1,4	3,0	2,0	2,1
410	0,8	-0,1	1,7	0,8
710	0,4	2,0	-0,5	0,6
1010	1,9	1,5	3,9	2,4

Incerteza de medição expandida (U) = (1,7 +L/3000) μm , onde: L = comprimento em " mm " .
 Fator de abrangência (k) = 2,11
 Graus de liberdade (Veff) = 25

4.2.8. Erro de Apalpação (P)

Erro de Apalpação (P)	Erro (μm)			
	1ª. Serie	2ª. Serie	3ª. Serie	Media
P	3,8	2,8	4,3	3,6

Erro de apalpação = (3,6 \pm 1,2) μm
 Fator de abrangência (k) = 2,00
 Graus de liberdade (Veff) = infinito

5. Observações Gerais :

**ANÁLISE DOS RESULTADOS
CONTROLE DE CALIBRAÇÃO**

APROVADO REPROVADO

VISTO: _____

DATA: 30/12/20

SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
MICROMAZZA WENMAZZA

Pag.: 4 / 4

Endereço: Rod. Índio Tibiriçá, 1555 - Bairro Raffo - CEP: 08620-000 - Suzano - SP - Tel.: (11) 4746-5858 - E-mail: suzano@mitutoyo.com.br
 Laboratório: Tel.: (11) 4746-5950 - E-mail: metrologia@mitutoyo.com.br
 Assistência Técnica Interna: Tel.: (11) 4746-5957 - E-mail: assistec@mitutoyo.com.br
 Assistência Técnica Externa: Tel.: (11) 5643-0026 - E-mail: ate@mitutoyo.com.br

ANEXO C – CERTIFICADOS DE CONFORMIDADE INMETRO

Figura C1 – Certificado de conformidade ABNT NBR 15827 (2018), INMETRO, folha 1/3.

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE CERTIFICATE OF CONFORMITY	
Certificado No. / Certificate No.	UL-BR 20.0839
Certificado de Conformidade válido somente acompanhado das páginas de: <i>Certificate of Conformity valid only with the following pages:</i>	1 a 3
Emissão / Date of issue	02 de junho de 2020 / June 2, 2020
Revisão / Revision Date	01 de junho de 2023 / June 1, 2023
Validade / Expire date	01 de junho de 2023 / June 1, 2023
Solicitante / Applicant	MICROMAZZA INDÚSTRIA DE VÁLVULAS LTDA Rua Micromazza, 1040 95.334-000 Vila Flores - RS - Brasil CNPJ: 72.096.100/0001-74 Party Site: 2346184 Data da Auditoria / Audit date: 2020-05-25
FILE#/VOL.#/SEC.#	BR4819/Vol.1/Sec.1
Local de Montagem / Assembly Location	Não aplicável / Not applicable
Importador / Importer	O mesmo que o solicitante / The same as applicant
Marca Comercial / Trademark	Micromazza
Produto Certificado / Certified Product	Válvulas Industriais para Instalações de Exploração, Produção, Refino e Transporte de Produtos de Petróleo
Modelo / Model	Válvula de Esfera Trunion Bipartida NPS 3" CL 600 S-253 com abrangência para NPS 2" CL600 S-253 e NPS 4" CL600 S-253
Lote ou Número de Série / Lot or Serial Number	Não aplicável / Not applicable
Normas Aplicáveis / Applicable Standards	ABNT NBR 15827:2018
Programa de certificação ou Portaria / Certification Program or Ordinance	Portarias no. 272, de 21 de junho de 2011 e nº. 93 de 04 de maio de 2017 do INMETRO <i>INMETRO Ordinances nº 272 as of June 21, 2011 and nº 93 as of May 04, 2017</i>
Concessão Para / Concession for	Ostentar o Selo de Identificação da Conformidade do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC) sobre o(s) produto(s) relacionado(s) neste certificado. <i>Bearing the Conformity Identification Seal of the Brazilian System of Conformity (SBAC) on the product covered by this certificate.</i>
 Delzuite M. Ferreira Jr. Gerente de Operações / Operations Manager	UL do Brasil Certificações, organismo acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO – CGCRE, segundo o registro No.: OCP-0029 confirma que o produto está em conformidade com a(s) Norma(s) e programas ou Portarias acima descritas. <i>UL do Brasil Certificações, Certification Body accredited by Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO - CGCRE according to the register No.: OCP-0029 confirms that the product is in compliance with the standards and certification Program or Ordinance above mentioned.</i>
 OCP 0029	
Organismo de Certificação / Certification Body	UL do Brasil Certificações Avenida Engenheiro Luis Carlos Berrini, 105 – 24º andar 04571-010 – Brooklin – São Paulo – SP – Brasil
Página / Page 1/3	41-IC-F0855 rev. 3.0

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura C2 – Certificado de conformidade ABNT NBR 15827 (2018), INMETRO, folha 2/3.

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE CERTIFICATE OF CONFORMITY			
Certificado No. / Certificate No.		UL-BR 20.0839	
Certificado de Conformidade válido somente acompanhado das páginas de: Certificate of Conformity valid only with the following pages:		1 a 3	
Emissão / Date of Issue		02 de junho de 2020 / June 2, 2020	
Revisão / Revision Date			
Validade / Expire date		01 de junho de 2023 / June 1, 2023	
Fabricante / Manufacturer		MICROMAZZA INDÚSTRIA DE VÁLVULAS LTDA Rua Micromazza, 1040 95.334-000 Vila Flores - RS - Brasil CNPJ: 72.096.100/0001-74 Party Site: 2346184 Data da Auditoria / Audit date: 2020-05-25	
MODELO DE CERTIFICAÇÃO / CERTIFICATION MODEL:			
<input checked="" type="checkbox"/> Modelo com Avaliação do Sistema de Gestão da Qualidade do Processo de Produção do Produto e Ensaio no Produto Quality Management System Evaluation of the Product Production Process and Product Test Model			
<input type="checkbox"/> Modelo Ensaio de Lote Lot Test Model			
CÓDIGO DE BARRAS GTIN / GTIN BAR CODE:			
Não aplicável / Not applicable			
DESCRIÇÃO DO PRODUTO / PRODUCT DESCRIPTION:			
Válvulas do tipo esfera fabricada em aço carbono e aço inoxidável para utilização em exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo. Ball valve made of carbon steel and stainless steel for use in exploration, production, refining and transportation of petroleum products.			
LISTA DE DOCUMENTOS / DOCUMENTS LIST:			
<input checked="" type="checkbox"/> Description ILL# <input type="checkbox"/> TestRef ILL#	Título / Title:	Desenho N° Drawing No.:	Revisão ou Data: Issue or Date
01	Lista de Documentos Válvula de Esfera Trunion BIP NPS 3" CL600 S-253		00
02	Certification Identification drawing	280520-01	01
CERTIFICADO DE CONFORMIDADE, RELATÓRIOS DE ENSAIO / CERTIFICATE OF CONFORMANCE, TEST REPORTS:			
<input checked="" type="checkbox"/> TestRec DS# <input type="checkbox"/> TestRef DS#	Título/Descrição: Title/Description:	Documento N° Document No.:	Revisão ou Data: Issue or Date
01	R3" CL600 S-253 Relatório de Ensaio da Válvula NPS	002/2020	2020-05-05
02	Certificate of Authority to Use the Official API Monogram	6D-0625	2018-05-21
03	Management System Certificate ISO 9001:2025	266859-2028-AQ-BRA-RvA	2028-10-24
Organismo de Certificação / Certification Body		UL do Brasil Certificações Avenida Engenheiro Luis Carlos Berrini, 105 – 24º andar 04571-010 – Brooklin – São Paulo – SP – Brasil	
Página / Page 2/3		41-IC-F0855 rev. 3.0	

Fonte: (Micromazza, 2020).

Figura C3 – Certificado de conformidade ABNT NBR 15827 (2018), INMETRO, folha 3/3.

<h1 style="text-align: center;">CERTIFICADO DE CONFORMIDADE</h1> <h2 style="text-align: center;">CERTIFICATE OF CONFORMITY</h2>			
Certificado No. / Certificate No. UL-BR 20.0839			
Certificado de Conformidade válido somente acompanhado das páginas de: <i>Certificate of Conformity valid only with the following pages:</i>		1 a 3	
Emissão / Date of Issue		02 de junho de 2020 / June 2, 2020	
Revisão / Revision Date			
Validade / Expire date		01 de junho de 2023 / June 1, 2023	
OBSERVAÇÕES / OBSERVATIONS:			
1. Este certificado aplica-se aos produtos idênticos ao protótipo avaliado e certificado, manufaturados na(s) unidade(s) fabril(is) mencionada(s) neste certificado, sendo este válido apenas para produtos fabricados/produzidos após a sua emissão.			
2. Qualquer alteração no produto, incluindo a marcação, invalidará o presente certificado, salvo se o solicitante informar por escrito à UL do Brasil Certificações sobre esta modificação, a qual procederá à avaliação e decidirá quanto à continuidade da validade do certificado.			
3. Somente as unidades comercializadas durante a vigência deste certificado estarão cobertas por esta certificação.			
4. As atividades de instalação, inspeção, manutenção, reparo, revisão e recuperação dos equipamentos são de responsabilidade dos usuários e devem ser executadas de acordo com os requisitos das normas técnicas vigentes e com as recomendações do fabricante.			
5. A validade deste Certificado de Conformidade está atrelada à realização das avaliações de manutenção e tratamento de possíveis não conformidades de acordo com as orientações da UL do Brasil Certificações previstas no RAC específico. Para verificação da condição atualizada de regularidade deste Certificado de Conformidade deve ser consultado o banco de dados de produtos e serviços certificados do Inmetro.			
1. <i>This certificate applies to the products that are identical to the prototype investigated, certified and manufactured at the production site(s) mentioned in this certificate, being valid only for products produced/manufactured after its issuance.</i>			
2. <i>Any changes made on the product, including marking, will invalidate this certificate unless UL do Brasil Certificações is notified, in written, about the desired change, who will conduct an analyzes and will decide over the continuity of the certificate validity.</i>			
3. <i>Only the products placed into the market during the validity of this certificate will be covered by this certification.</i>			
4. <i>The installation, inspection, maintenance, repair, review and rebuild equipment activities are responsibility of the end user and must be performed in accordance with the requirements of the standards and manufacturer's recommendation.</i>			
5. <i>The validity of this Certificate of Conformity is subjected to the conduction of the maintenance evaluations and treatment of possible nonconformities according to UL do Brasil Certificações guidelines in accordance with the specific RAC. In order to verify the updated condition of validity of this Certificate of Conformity, the Inmetro database of certified products and services must be consulted.</i>			
HISTÓRICO DE REVISÕES / REVISION HISTORY:			
Data de revisão <i>Revision Date</i>	Descrição da revisão <i>Description of revision</i>	Número do projeto <i>Project number</i>	Número da Revisão <i>Revision Number</i>
2020-06-02	Emissão inicial <i>Initial Issue</i>	OPP-022019-102317388.2.2	0
A última revisão substitui e cancela as anteriores <i>The last revision cancel and substitutes the previous ones</i>			
Organismo de Certificação / Certification Body		UL do Brasil Certificações Avenida Engenheiro Luis Carlos Berrini, 105 – 24º andar 04571-010 – Brooklin – São Paulo – SP – Brasil	
Página / Page 3/3		41-IC-F0855 rev. 3.0	

Fonte: (Micromazza, 2020).