



**TECNOLOGIA
SETÚBAL**

ESCOLA SUPERIOR
POLITÉCNICO SETÚBAL

MÁRIO JORGE
SANTINHOS

**ANÁLISE DE FALHAS DE
VÁLVULAS DE SEGURANÇA E
ALÍVIO DE PRESSÃO NA
INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Relatório de Dissertação do Mestrado em Engenharia de
Produção da Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

ORIENTADOR

Professor Doutor José Augusto da Silva Sobral

02 de dezembro 2025

MÁRIO JORGE
SANTINHOS

**ANÁLISE DE FALHAS DE
VÁLVULAS DE SEGURANÇA E
ALÍVIO DE PRESSÃO NA
INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

JÚRI

Presidente: Professor Doutor Pedro Filipe do Carmo Cunha, ESTSetúbal/IPS

Orientador: Professor Doutor José Augusto da Silva Sobral, ISEL/IPL

Vogal: Professor Doutor Filipe Didelet, ESTSetúbal/IPS

Dedico este trabalho à minha esposa, Inês Pereira Santinhos, por ter sido a inspiração para iniciar este percurso, pelo apoio, paciência e incentivo constantes ao longo de todo o processo.

À nossa filha, cuja chegada durante esta etapa académica se tornou numa motivação adicional para concluir este desafio. Espero que um dia possas sentir orgulho deste caminho e que nele encontres o exemplo de empenho e persistência que também te quero transmitir.

Aos meus pais e avós, por todos os valores transmitidos, pelo exemplo, e pelo apoio incondicional que sempre me deram — pilares fundamentais ao longo da minha vida.

Agradecimentos

A concretização deste trabalho marca o final de uma etapa académica iniciada em 2019, numa fase em que a vida profissional e familiar já preenchia intensamente o meu dia a dia.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, José Augusto da Silva Sobral, pela orientação e apoio na elaboração deste trabalho, tendo sido uma peça fundamental na definição da estrutura apresentada, bem como na forma mais adequada de apresentar os conteúdos.

Quero também deixar uma palavra de agradecimento ao Professor Pedro Filipe do Carmo Cunha que, não só como docente durante a fase curricular, mas também como Coordenador do Curso de Mestrado em Engenharia de Produção, tem desenvolvido um trabalho de grande valor, incentivando e motivando os mestrandos a desenvolver e concluir esta importante etapa.

À minha família, expresso o meu mais profundo agradecimento pelo apoio constante e pela compreensão, que me permitiram conciliar as exigências profissionais e académicas com as responsabilidades familiares. Quero deixar um agradecimento especial aos meus pais e avós, que sempre me proporcionaram um ambiente de estabilidade, segurança e incentivo, sendo os alicerces do meu percurso pessoal e académico.

À minha esposa, Inês Pereira Santinhos, o meu agradecimento mais sentido, não só por ter sido a motivação inicial para iniciar este percurso de mestrado, mas, sobretudo, pelo apoio constante, pela paciência e pelo suporte indispensável à concretização deste objetivo. Sem o seu incentivo e compreensão, este trabalho não teria sido possível.

À nossa filha, que nasceu durante a fase curricular do mestrado, agradeço a alegria que me proporciona diariamente e que me dá forças para superar os desafios de cada dia.

Aos meus colegas de mestrado, em particular ao Daniel Pereira e ao David Neto, deixo um sincero obrigado pelo apoio prestado ao longo da fase curricular.

À Repsol Polímeros, agradeço a oportunidade concedida de analisar e apresentar neste estudo as atividades desenvolvidas em contexto laboral. Este apoio foi fundamental para contribuir para a evolução e concretização de objetivos comuns, no que respeita à fiabilidade dos equipamentos e à segurança das instalações.

Por fim, a todas as pessoas e entidades que, apesar de não referenciadas individualmente, contribuíram de alguma forma para a realização e conclusão deste trabalho, deixo o meu mais sincero agradecimento.

Resumo

O trabalho analisa desvios e falhas em válvulas de segurança e alívio de pressão numa unidade petroquímica entre 2009 e 2024, com foco em 2017-2024. A partir do histórico de intervenções e ensaios em bancada, avaliou-se a adequação dos intervalos de manutenção e a conformidade dos desvios face às práticas do setor. A metodologia baseou-se na recolha e análise de dados de ensaios funcionais, permitindo caracterizar o estado dos dispositivos após serviço. Foram realizados mais de três mil ensaios, revelando desvios frequentes ligados a depósitos e corrosão. Os resultados reforçam a importância dos ensaios e da definição adequada da manutenção.

Palavras-chave: Válvulas de segurança, Análise de falhas, Ensaio em bancada, Manutenção preventiva, Fiabilidade operacional, Segurança industrial.

Abstract

The study analyses deviations and failures in safety and pressure relief valves in a petrochemical facility between 2009 and 2024, with a focus on 2017–2024. Based on the history of interventions and bench tests, it assessed the adequacy of maintenance intervals and the extent to which identified deviations align with sector practices. The methodology relied on collecting and analysing functional test data, enabling the characterisation of device condition after service. More than three thousand tests were performed, revealing frequent deviations associated with deposits and internal corrosion. The results underscore the importance of testing and of establishing appropriate maintenance intervals.

Keywords: Safety valves, Failure analysis, Bench testing, Preventive maintenance, Operational reliability, Industrial safety.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas	viii
Lista de Siglas e Acrónimos	ix
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	2
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3. Estrutura do documento.....	3
Capítulo 2	4
Dispositivos de segurança e alívio de pressão.....	4
2.1 Descrição de dispositivos de segurança e alívio de pressão	5
2.2 Definições.....	8
2.3 Normas internacionais e legislação aplicável	16
Capítulo 3	20
Inspeção e manutenção de dispositivos de segurança e métodos de ensaio.....	20
3.1 Verificação da condição	21
3.2 Ensaio real	21
3.3 Trevitest – Ensaio com aplicação de força externa	21
3.4 Verificação e inspeção em oficina.....	22
3.5 Tarefas de manutenção	25
3.6 Testes após montagem da válvula	27
3.7 Registos e documentação associada	28
3.8 Intervalos de manutenção estabelecidos na RP.Lda.....	28
3.9 Periodicidade de planos de manutenção associados a válvulas de segurança e alívio de pressão implementados	29
Capítulo 4	31
Ensaio realizados e desvios identificados (2009-2024).....	31
4.1. Áreas processuais e contabilização de dispositivos de segurança e alívio de pressão.....	32
4.2. Válvulas verificadas e desvios registados no período de 2009 a 2016	32
4.3. Válvulas verificadas e desvios registados em 2017	32
4.3.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2017</i>	33
4.4. Válvulas verificadas e desvios registados em 2018	34

4.4.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2018</i>	36
4.5. Válvulas verificadas e desvios registados em 2019	37
4.5.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2019</i>	38
4.6. Válvulas verificadas e desvios registados em 2020	40
4.6.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2020</i>	41
4.7. Válvulas verificadas e desvios registados em 2021	42
4.7.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2021</i>	43
4.8. Válvulas verificadas e desvios registados em 2022	43
4.8.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2022</i>	44
4.9. Válvulas verificadas e desvios registados em 2023	45
4.9.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2023</i>	46
4.10. Válvulas verificadas e desvios registados em 2024	46
4.10.1. <i>Análise de desvios identificados no ano de 2024</i>	47
4.11. Dados estatísticos de resumo de intervenção	48
4.11.1. <i>Total de ensaios realizados em bancada</i>	48
4.11.2. <i>Desvios identificados</i>	48
4.11.3. <i>Percentagem de desvio em relação aos ensaios realizados</i>	49
4.11.4. <i>Desvios verificados por fluído de serviço</i>	50
4.12. Análise global e comentários ao tema da verificação e ensaios a dispositivos de segurança e alívio de pressão.	51
Capítulo 5	53
Conclusões e trabalho futuro	53
5.1. Conclusão	54
5.2. Trabalho futuro	55
Bibliografia	57

Lista de Figuras

Figura 1– Grupos de dispositivos de alívio de pressão	5
Figura 2– Dispositivos de alívio de pressão que após atuar voltam a fechar.....	7
Figura 3– Dispositivos de alívio de pressão e vácuo.....	7
Figura 4– Dispositivos de alívio de pressão que após atuar não fecham	8
Figura 5 – Exemplo de dispositivo de alívio pressão atuado por fusível.....	9
Figura 6 – Válvula atuada por pino, de acordo com o <i>API STD 520, Part I</i>	10
Figura 7– Exemplos de discos de rutura, de acordo com o <i>API STD 520, Part I</i>	10
Figura 8 – Exemplos de reservatórios de pressão.	12
Figura 9 – Exemplo de válvula de alívio de pressão atuada externamente	12
Figura 10 – Exemplo esquemático de válvula de alívio.....	13
Figura 11– Válvula de alívio de pressão convencional segundo o <i>API STD 520, Part I</i> . 14	
Figura 12– Válvula de alívio de pressão balanceada de acordo com o <i>API STD 520, Part I</i>	14
Figura 13– Exemplo de válvula piloto-operada segundo o <i>API STD 520, Part I</i>	15
Figura 14 – Cesto de transporte de válvulas	23
Figura 15 – Ensaio em bancada	23
Figura 16 – Válvula de segurança em processo de desmontagem.....	25
Figura 17 – Componentes de válvulas de segurança.....	26
Figura 18 – Válvula após montagem	27
Figura 19 – Ensaio realizados e desvios verificados no período de 2009 a 2016.....	32
Figura 20 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2017.....	33
Figura 21 – Componentes internos da PSV8192	34
Figura 22 – Componentes internos da PSV2002	34
Figura 23 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2018.....	35
Figura 24 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2019.....	37
Figura 25 – Componentes internos da PSV2387	38
Figura 26 – Componentes internos da PSV3204	39
Figura 27 – Componentes internos da PSV3002C.....	39
Figura 28 – Componentes internos da PSV3007	39
Figura 29 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2020.....	40
Figura 30 – Componentes internos da PSV21451	41
Figura 31 – Mola da PSV2003.....	41
Figura 32 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2021.....	42
Figura 33 – Componentes internos da PSV2538	43
Figura 34 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2022.....	44
Figura 35 – Componentes internos da PSV7005.	45

Figura 36 – Ensaio efetuado por unidade processual no ano de 2023.....	45
Figura 37 – Interior do corpo e anéis de regulação da PSV5604.....	46
Figura 38 – Ensaio efetuado por unidade processual no ano de 2024.....	47
Figura 39 – Componentes internos da PSV1535	48
Figura 40 – Total de ensaios em bancada realizados de 2017 a 2024.....	48
Figura 41 – Desvios verificados de 2017 a 2024.....	49
Figura 42 – Percentagem de desvios identificados	49
Figura 43 – Desvios verificados por fluido de serviço	51

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Gamas de desvio consideradas.....	30
Tabela 2 – Desvios identificados no ano de 2017	33
Tabela 3 – Desvios identificados no ano de 2018	36
Tabela 4 – Desvios identificados no ano de 2019	38
Tabela 5 – Desvios identificados no ano de 2020	40
Tabela 6 – Desvios identificados no ano de 2021	42
Tabela 7 – Desvios identificados no ano de 2022	44
Tabela 8 – Desvios identificados no ano de 2023	46
Tabela 9 – Desvios identificados no ano de 2024	47
Tabela 10 – Desvios verificados por fluído de serviço.....	50

Lista de Siglas e Acrónimos

API	<i>American Petroleum Institute</i> (Instituto Americano do Petróleo)
ASME	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i> (Associação Americana dos Engenheiros Mecânicos)
CDSP	<i>Cold Differential Set Pressure</i> (Pressão de ajuste a frio)
ESP	<i>Equipamento sob pressão</i>
ESPS	<i>Equipamentos sob pressão simples</i>
DMF	<i>Dimetilformamida</i>
GPL	<i>Gases de petróleo liquefeitos</i>
HC	<i>Hidrocarbonetos</i>
ITC	<i>Instrução técnica complementar</i>
MAWP	<i>Maximum Allowable Working Pressure</i> (Pressão máxima de serviço admissível)
ML	<i>Mother Liquor</i> (Mistura de polímero e hexano)
NaOH	<i>Hidróxido de Sódio</i> (Soda Cáustica)
PED	<i>Diretiva Europeia de Equipamentos sob Pressão 2014/68/UE</i>
PRD	<i>Pressure Relief Device</i> (Dispositivo de alívio de pressão)
PRV	<i>Pressure Relief Valve</i> (Válvula de alívio de pressão)
PTC	<i>Performance Test Code</i> (Código de teste de desempenho)
RAC	<i>Recipientes destinados a conter ar, oxigénio ou gases inertes comprimidos no estado gasoso, associados ou não a água (hidropneumáticos)</i>
RD	<i>Relief Device</i> (Dispositivo de alívio)
RP	<i>Recommended Practice</i> (Prática recomendável)

RP.Lda	<i>Repsol Polímeros Unipessoal, Lda.</i>
SP	<i>Set Pressure (Pressão de ajuste)</i>
STD	<i>Standard</i>
SV	<i>Safety Valve (Válvula de segurança)</i>
UE	<i>União Europeia</i>
VINIL A.	<i>Vinil Acetilénico</i>

Lista de Símbolos

C_2 Fração de hidrocarbonetos com 2 elementos de carbono

C_4 Fração de hidrocarbonetos com 4 elementos de carbono

H_2 Hidrogénio

m^3 Metro cúbico

$NaOH$ Hidróxido de sódio (soda cáustica)

Capítulo 1

Introdução

O capítulo 1 apresenta o enquadramento ao tema analisado, refere os objetivos a alcançar com a realização deste trabalho e apresenta a estrutura idealizada para o documento.

1.1. Enquadramento

A indústria petroquímica tem vindo a evoluir de forma a aproveitar produtos que apresentam menor utilidade na indústria da refinação de petróleo. Assim, a matéria-prima recebida é convertida noutros produtos através de uma variedade de tecnologias e processos químicos. Dessa forma é atualmente possível produzir uma grande variedade de compostos que têm aplicação em praticamente todas as áreas da sociedade moderna. O facto destas indústrias incorporarem infraestruturas complexas e matérias perigosas torna-as propensas à ocorrência de acidentes graves, devendo cada vez mais ser implementados sistemas de segurança, assim como práticas de manutenção adequadas, garantindo a integridade de todos os elementos envolvidos na indústria.

Com o propósito de manter a segurança processual, a integridade mecânica dos vários equipamentos, assim como a vida humana e o meio ambiente, existem diversos sistemas que têm como finalidade evitar acidentes nos complexos industriais. No que se relaciona com o aumento de pressão em sistemas de tubagem e equipamentos sob pressão, as válvulas de segurança constituem a última proteção para os distúrbios processuais ou condições anómalas que conduzam a um aumento de pressão para além das especificações de projeto.

De forma a garantir a operacionalidade dos dispositivos de segurança é importante executar rotinas de manutenção periódicas para preservar o seu estado de conservação e permitir verificar as condições em se encontram durante o período de funcionamento. Para o efeito é importante estabelecer intervalos de verificação adequados a cada dispositivo de segurança.

No exercício de funções técnicas no departamento de Fiabilidade Estática da Repsol Polímeros, Unipessoal, Lda. (RP.Lda), verifica-se que uma das temáticas normalmente abordadas tanto a nível interno, como a nível externo no âmbito de auditorias, está relacionada com a verificação periódica dos dispositivos de segurança e alívio de pressão e com os resultados obtidos nos ensaios em bancada efetuados. Sendo inerente às funções de técnico de fiabilidade o acompanhamento das intervenções efetuadas a válvulas de segurança e alívio, assim como o registo, análise dos resultados obtidos e adequação do intervalo de manutenção a aplicar ao dispositivo testado, pode-se afirmar que existe na organização um histórico de intervenções relevante que deve analisado de forma a verificar se os casos de desvio identificados vão ao encontro do expectável a nível mundial para este tipo de indústria.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é enumerar os motivos de desvio identificados ao longo do tempo na RP.Lda para válvulas de segurança e alívio de pressão, tendo por base a análise ao histórico de resultados obtidos nos últimos 15 anos em ensaios de bancada, dando

particular atenção ao período decorrente entre janeiro de 2017 e dezembro de 2024.

1.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos que se propõe atingir no presente trabalho passam por:

- a) Descrever os dispositivos de segurança e alívio de pressão de acordo com os códigos internacionais e práticas recomendáveis, assim como adequar os termos técnicos apresentados à língua portuguesa.
- b) Apresentar um resumo de quais as principais normas internacionais e legislação aplicada no que concerne a dispositivos de segurança e alívio de pressão.
- c) Analisar os desvios identificados nos ensaios realizados a dispositivos de segurança e alívio de pressão.
- d) Apresentar considerações finais sobre a realização de ensaios e a sua relação com a ocorrência de falhas.

1.3. Estrutura do documento

Este trabalho apresenta-se estruturado em 5 capítulos principais que apresentam o seguinte conteúdo:

Capítulo 1 – Introdução: É feita uma pequena introdução ao tema do trabalho, o seu enquadramento, objetivos propostos e estrutura do documento.

Capítulo 2 – Dispositivos de segurança e alívio de pressão: Neste capítulo é feita a descrição dos dispositivos de segurança e alívio de pressão e são apresentadas definições adequadas ao contexto nacional das expressões utilizadas nos códigos e referências internacionais. São também apresentadas quais a normas internacionais e legislação aplicável.

Capítulo 3 – Inspeção e manutenção de dispositivos de segurança, métodos de ensaio: Apresenta-se a descrição dos ensaios que podem ser aplicados a válvulas de segurança, quer em situação de funcionamento real, assim como em oficina. São indicadas as tarefas de manutenção e testes após montagem da válvula. São também descritos quais os registos e documentação associada ao processo. Ainda neste capítulo é dada a indicação dos intervalos de manutenção estabelecidos na RP.Lda, assim como a periodicidade dos planos implementados e estabelecimento dos critérios de desvio a considerar.

Capítulo 4 – Ensaio realizados e desvios identificados no período entre 2009 e 2024:

Neste capítulo apresenta-se numa primeira fase os dados estatísticos globais existentes para o período de 2009 a 2016 relativos a ensaios realizados e desvios identificados. De seguida é apresentado anualmente uma análise mais detalhada dessa informação para os anos de 2017 a 2024. É também apresentando um conjunto de gráficos e tabelas resumo da informação obtida.

Capítulo 5 – Conclusões e trabalho futuro: Apresentam-se conclusões relativas aos dados analisados e efetuam-se considerações para futuro desenvolvimento.

Capítulo 2

Dispositivos de segurança e alívio de pressão

O capítulo 2 apresenta a descrição dos dispositivos de segurança e alívio de pressão, fazendo referência às normas internacionais, práticas recomendáveis e legislação portuguesa aplicável. É também objetivo deste capítulo indicar quais os principais tipos de dispositivos de segurança e alívio que vão ser o objeto de estudo deste trabalho.

2.1 Descrição de dispositivos de segurança e alívio de pressão

De acordo com o descrito no ponto 4.1 do *API RP 576 (API, 2017)*, os dispositivos de segurança e alívio de pressão têm como finalidade a proteção dos equipamentos e pessoas por meio da sua abertura, evitando assim os efeitos adversos da sobrepressão em sistemas processuais e depósitos de armazenagem. Estes dispositivos são acionados por ação da pressão estática a que estão sujeitos, sendo desenhados e dimensionados para abrir durante emergências ou em situações de perturbação processual, prevenindo o aumento de pressão acima do valor de projeto especificado. Este tipo de dispositivo também pode ser projetado para proteger contra a ação do vácuo.

Segundo *Sotoodeh (2023)*, a designação comum de válvula de segurança refere-se a uma variedade de dispositivos projetados para aliviar a pressão excessiva do fluido.

Tendo por base os códigos internacionais e práticas recomendáveis para a indústria é possível definir os dispositivos de alívio de pressão em três grandes grupos de acordo com as suas características de funcionamento. Assim, são considerados os dispositivos que após abertura e alívio de pressão voltam a fechar (*reclosing type*), os dispositivos utilizados para a proteção contra os efeitos do vácuo (*vacuum type*) e os dispositivos que após serem acionados pelo aumento de pressão acima do especificado não voltam a fechar (*nonreclosing type*), ou como referido no *API RP 576 (API, 2017)*, um dispositivo de alívio de pressão que permanece aberto após operação.

A figura 1 apresenta uma forma estruturada para a classificação de dispositivos de alívio de pressão.

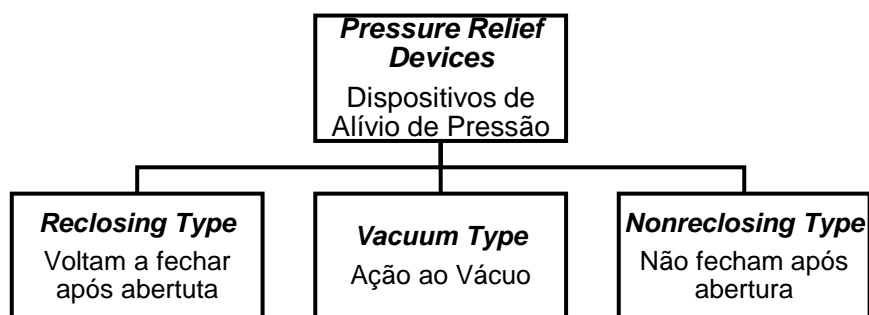


Figura 1– Grupos de dispositivos de alívio de pressão (fonte própria)

Dentro dos três grupos anteriormente referidos surgem vários tipos de dispositivos com particularidades que os tornam diferenciáveis tanto a nível de princípio de funcionamento, características operacionais e aplicações indicadas segundo o *API STD 520 Part I (API, 2020)*.

Para os dispositivos que após serem acionados por ação do aumento de pressão, voltam a fechar após essa diferença ser inferior ao *Set pressure*, é possível fazer distinção entre válvulas de segurança e alívio, válvulas de alívio e válvulas de segurança.

As válvulas de segurança caracterizam-se por uma abertura rápida, ou o chamado efeito *pop* (*pop action*), quando é atingido um valor de pressão igual ao valor de *Set pressure* da válvula, libertando o excesso de pressão de forma imediata e fechando em seguida segundo o *ASME PTC25* (*ASME, 2008*).

No caso das válvulas de alívio, o seu modo de abertura é proporcional ao aumento de pressão acima do *Set pressure* para que a válvula é ajustada (*ASME PTC25, 2008*).

Para dispositivos que dependendo da sua aplicação possam ser utilizados como válvula de segurança ou como válvula de alívio atribui-se a denominação de válvula de segurança e alívio, como referido no *ASME PTC25* (*ASME, 2008*).

Ainda dentro do grupo dos dispositivos de alívio de pressão que após atuarem voltam a garantir a estanquicidade do sistema, podem ainda ser feitas distinções consoante as características operacionais do dispositivo, sendo a sua designação feita de acordo com os esquemas apresentados nas Figura 2 e 3.

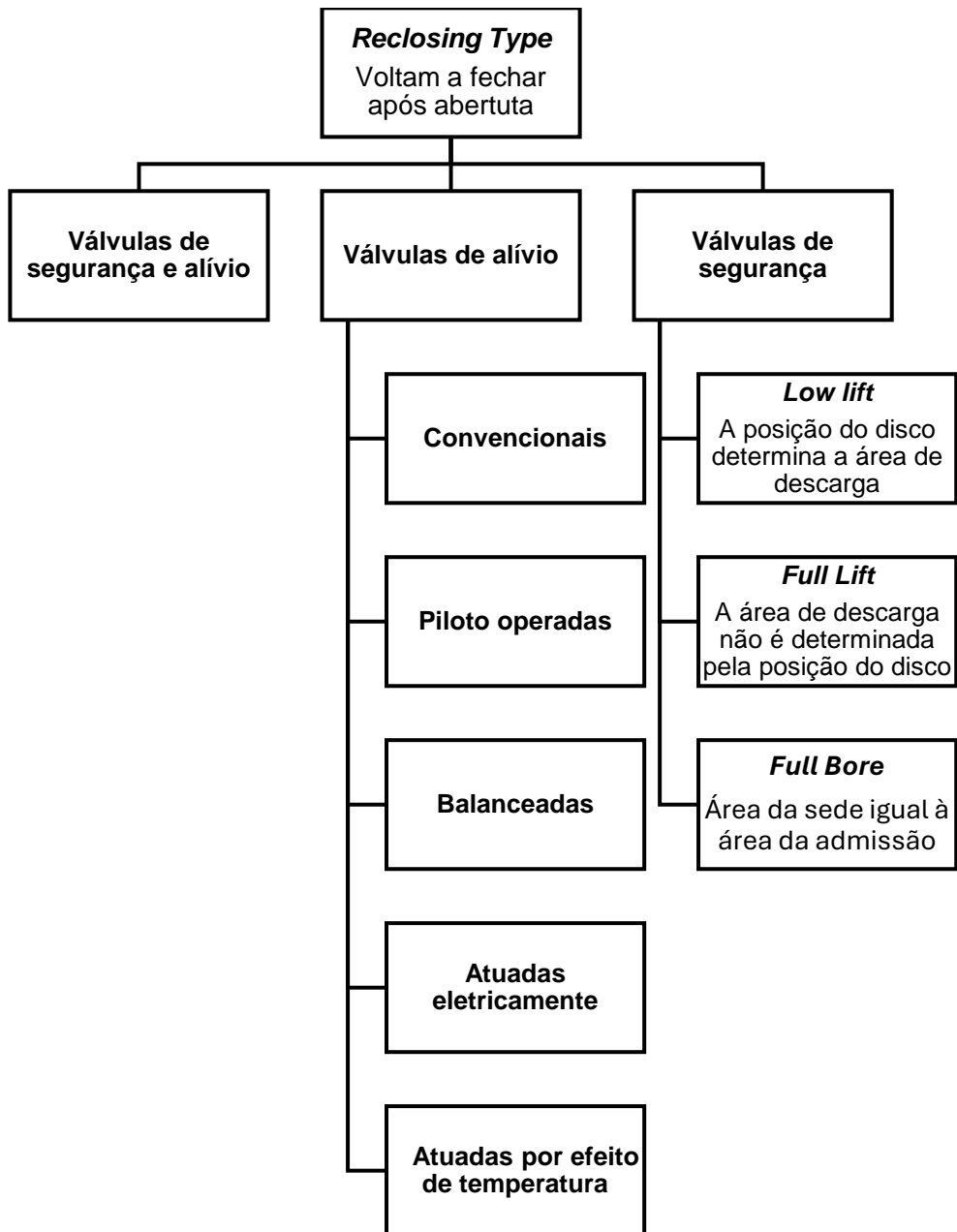


Figura 2– Dispositivos de alívio de pressão que após atuar voltam a fechar (fonte própria)



Figura 3– Dispositivos de alívio de pressão e vácuo (fonte própria)

Na figura 4 encontra-se esquematizada a classificação de dispositivos de alívio de pressão que não voltam a fechar após serem acionados.



Figura 4– Dispositivos de alívio de pressão que após atuar não fecham (fonte própria)

2.2 Definições

Com base na literatura consultada e tendo como referência os códigos internacionais aplicados à temática dos dispositivos de segurança e alívio de pressão, que, regra geral, são a referência na indústria, é importante apresentar as definições dos termos utilizados, pois a sua tradução de forma literal nem sempre apresenta o mesmo significado na língua portuguesa. Assim, o ponto 2 do presente capítulo tem como objetivo descrever de forma clara e sucinta a

informação indicada nos códigos de forma adequada à língua portuguesa.

Para enquadrar os termos apresentados nos códigos internacionais, no caso as publicações *ASME* e *API*, será posteriormente apresentada a definição e o texto adequado ao termo apresentado no código.

2.2.1 Contrapressão (*Backpressure*)

Tendo como referência o *API STD 520 Part I (API, 2020)*, define-se como contrapressão, a pressão existente na descarga do dispositivo de alívio de pressão como resultado da pressão existente no sistema de descarga. O efeito da contrapressão no desempenho das válvulas de alívio tem sido estudado, evidenciando sua influência significativa no funcionamento e na estabilidade operacional dos dispositivos (Kim & Park, 2017).

2.2.2 Dispositivo de alívio de pressão atuado por fusível (*Fusible Plug Device*)

Este tipo de dispositivo de alívio de pressão está projetado de forma que quando se atinja uma determinada temperatura ocorra a cedência ou fusão do elemento que suporta o membro que contém a pressão, ou que por si só suporta a pressão, de acordo com a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*.

Na figura 5 apresenta-se um exemplo de um dispositivo de alívio de pressão atuado por fusível.

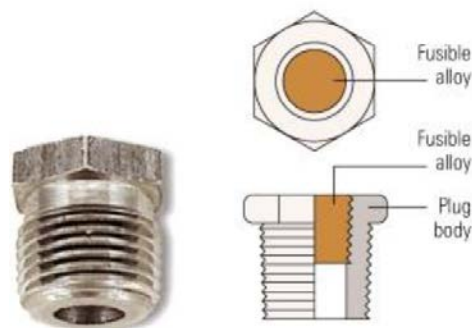


Figura 5 – Exemplo de dispositivo de alívio pressão atuado por fusível (fusibleplugs.com)

2.2.3 Dispositivo de alívio de pressão atuado por pino (*Pin Device or Pin-Actuated Device*)

Os dispositivos de alívio de pressão atuados por pino, são dispositivos que contêm um disco na posição de fechado que é mantido nessa posição através do pino. Quando é atingida a pressão de alívio definida para o dispositivo, o pino quebra e o disco abre, de acordo com o *API STD 520 Part I (API, 2020)*. Um exemplo deste tipo de dispositivo é apresentado na figura 6.

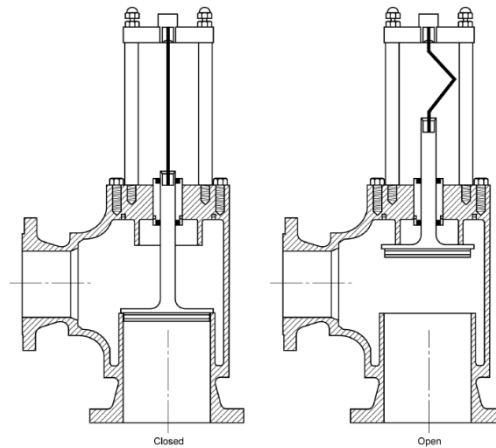


Figura 6 – Válvula atuada por pino, de acordo com o *API STD 520, Part I (API,2020)*.

2.2.4 Dispositivo disco de rutura (*Rupture Disk Device*)

Dispositivo de alívio de pressão que é atuado pelo diferencial de pressão estática entre a entrada e a saída do mesmo, sendo desenhado para funcionar através do rebentamento do disco de rutura, sendo um dispositivo que após acionado não volta a fechar. Este dispositivo inclui o disco de rutura e o suporte do disco, de acordo com o *API STD 520, Part I (API,2020)*.

Tendo em conta a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*, pode-se descrever um dispositivo disco de rutura como um dispositivo que contem um disco que rompe quando a pressão diferencial estática a montante e a jusante desse componente atinge um valor pré-determinado. Este dispositivo pode ser constituído apenas pelo disco de rutura em si, ou pelo conjunto disco e porta-disco.

De acordo com Jeong et al. (2012) o disco de rutura pertence à classe dos dispositivos que não voltam a fechar após serem atuados. Se a pressão interna exceder um nível predeterminado o disco de rutura rompe, proporcionado um alívio rápido da sobrepressão evitando danos aos equipamentos e situações potencialmente perigosas.

De seguida, na figura 7, são apresentados exemplos de discos de rutura.



Figura 7– Exemplos de discos de rutura, de acordo com o *API STD 520, Part I (API, 2020)*.

2.2.5 Dispositivo de alívio de pressão (*Pressure Relief Device*)

Dispositivo projetado para evitar que a pressão ou o vácuo exceda um valor pré-determinado num reservatório de pressão por ação da transferência de fluido durante situações de emergência ou condições anormais de funcionamento de acordo com a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*.

De acordo com a definição apresentada no *API STD 520 Part I (API, 2020)*, trata-se de um dispositivo acionado pela pressão estática na sua entrada e projetado para abrir durante situações de emergência ou condições anormais para evitar um aumento da pressão interna do fluido além de um valor especificado é um dispositivo de alívio de pressão. É igualmente referido que o dispositivo também pode ser projetado para evitar o vácuo interno excessivo. Estes podem ser dispositivos que após abertura e alívio de pressão voltam a fechar (*reclosing type*), dispositivos que após serem acionados pelo aumento de pressão acima do especificado não voltam a fechar (*nonreclosing type*) e válvulas de alívio de vácuo (*vacuum-relief valve*). A análise de segurança e risco desses dispositivos é fundamental para garantir a integridade dos sistemas de pressão (Zhang & Chen, 2016).

2.2.6 Pressão de ajuste (*Set Pressure*)

Segundo a *ASME PTC25 (ASME, 2008)* é o valor de pressão estática na entrada do dispositivo de alívio de pressão que faz com que este demonstre as suas características operacionais definidas para cada tipo de dispositivo, na pressão de abertura, quer sejam abertura rápida (*pop action*), início de passagem ou pressão de rutura.

Por sua vez, como indicado no *API STD 520 Part I (API, 2020)*, a pressão manométrica na entrada de qualquer dispositivo de alívio de pressão a que este está configurado para abrir nas condições de serviço é descrito como a pressão de ajuste (*set pressure*).

Segundo Gross (2004) a pressão de ajuste é a pressão a que o dispositivo foi projetado para abrir, rebentar ou aliviar a pressão do sistema.

2.2.7 Pressão de ajuste a frio (*Cold Differential Set Pressure*)

Pressão na qual uma válvula de alívio de pressão é ajustada para abrir na bancada de teste. A pressão de ajuste a frio inclui correções para as condições de serviço reais, quer sejam de contrapressão, temperatura ou ambas segundo o *API STD 520 Part I (API, 2020)*.

De acordo com a *ASME PTC25 (ASME,2008)*, a definição para pressão de ajuste a frio, refere que este é o valor de pressão estática na entrada de uma válvula de alívio de pressão ajustado para abertura no teste em bancada, incluindo as correções para as condições de serviço, quer sejam e contrapressão ou temperatura.

2.2.8 Reservatório de pressão (*Pressure Vessel*)

Segundo o *API STD 510 (API, 2022)*, um reservatório de pressão é um reservatório projetado para suportar pressões/cargas internas e/ou externas, podendo a pressão ser imposta pela aplicação de calor de uma fonte direta ou indireta, ou por qualquer combinação destas. De

acordo com este código a definição de reservatório de pressão inclui reservatórios, permutadores de calor, colunas e geradores de vapor.

A normativa europeia define um reservatório sob pressão como um invólucro concebido e construído para conter fluídos sob pressão, incluindo os acessórios diretamente ligados ao mesmo, que pode incluir, tubuladuras, flanges, tampas, suportes e outros componentes com a função de contenção, de acordo com a diretiva PED, (União Europeia,2014).

Na figura 8 são apresentados um reservatório e um permutador de calor, sendo estes exemplos de reservatórios de pressão.



Figura 8 – Exemplos de reservatórios de pressão (fonte própria em contexto laboral).

2.2.9 Válvula de alívio de pressão atuada externamente (*Power-Actuated PRV*)

Válvula de alívio de pressão atuada por um dispositivo de controlo alimentado externamente, de acordo com a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*. A fonte externa de acionamento da válvula pode ser elétrica, pneumática ou hidráulica.

Um exemplo deste tipo de dispositivo é apresentado na figura 9.



Figura 9 – Exemplo de válvula de alívio de pressão atuada externamente (<https://www.valvesalesinc.com/products/mogas-power-operated-relief-valve>)

2.2.10 Válvula de alívio (*Relief Device*)

Na publicação *ASME PTC25 (ASME, 2008)* é apresentado como definição de válvula de alívio de pressão, uma válvula caracterizada por uma abertura gradual geralmente proporcional ao aumento de pressão, normalmente utilizada em fluidos incompressíveis. Por outro lado, de acordo com o *API STD 520, Part I (API, 2020)*, é indicado que uma válvula de alívio de pressão é uma válvula com mola, atuada pela pressão estática a montante. A válvula abre normalmente em proporção ao aumento de pressão acima do valor de abertura. A válvula de alívio é aplicada principalmente em fluidos incompressíveis, sendo apresentado um exemplo na figura 10.



Figura 10 – Exemplo esquemático de válvula de alívio (https://www.cw-valvegroup.com/sites/default/files/Library/CW_2700Catalog_R9-11-7.pdf)

2.2.11 Válvula de alívio convencional (*Conventional Relief Valve*)

Define-se válvula de alívio convencional (*Conventional direct Spring-loaded PRV*) como uma válvula de alívio de pressão com mola, cujas características operacionais são diretamente influenciadas por alterações na contrapressão, segundo a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*.

Por outro lado, de acordo com o *API STD 520, Part I (API, 2020)* uma válvula de alívio convencional (*Conventional Pressure-relief Valve*) é uma válvula de alívio de pressão com mola de acionamento automático desenhada para abrir a uma pressão pré-determinada e proteger um reservatório ou sistema do excesso de pressão, conforme ilustrado na Figura 11.

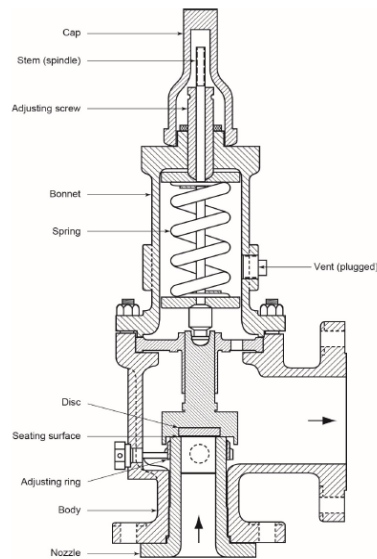


Figura 11– Válvula de alívio de pressão convencional segundo o *API STD 520, Part I (API, 2020)*.

2.2.12 Válvula de alívio de pressão balanceada (*Balanced Pressure-Relief Valve*)

Entende-se como válvula de alívio de pressão balanceada, uma válvula que incorpora meios que permitem minimizar os efeitos da contrapressão no seu desempenho operacional (*ASME PTC25, 2008*).

Segundo o *API STD 520 Part I (2020)*, uma válvula de alívio de pressão balanceada incorpora um fole ou outro meio para minimizar o efeito da contrapressão nas características operacionais da válvula, conforme ilustrado na Figura 12.

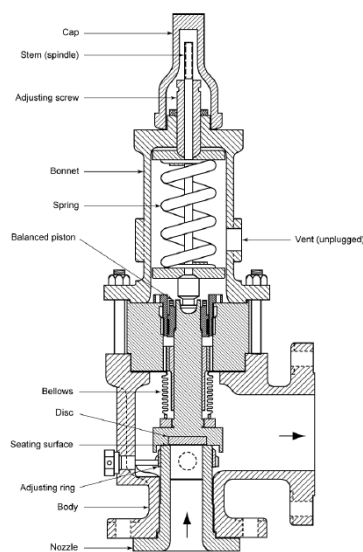


Figura 12– Válvula de alívio de pressão balanceada de acordo com o *API STD 520, Part I (API 2020)*.

2.2.13 Válvula de alívio piloto-operada (*Pilot-Operated Pressure Relief Valve*)

A válvula de alívio piloto-operada é um dispositivo de alívio de pressão constituído por um dispositivo de alívio principal combinado e controlado por um dispositivo auxiliar, denominado por piloto (*API STD 520 Part I, 2020*).

De acordo com o *ASME PTC25 (2008)*, uma válvula de alívio de pressão piloto-operada, é uma válvula em que o obturador é mantido fechado independentemente da pressão do sistema, no entanto a sua abertura é controlada pela válvula piloto, sendo este sim acionado pela pressão do sistema, conforme representado na Figura 13. Estudos sobre o comportamento dinâmico dessas válvulas evidenciam vantagens no controle e estabilidade do sistema (*Chen & Wang, 2020*).

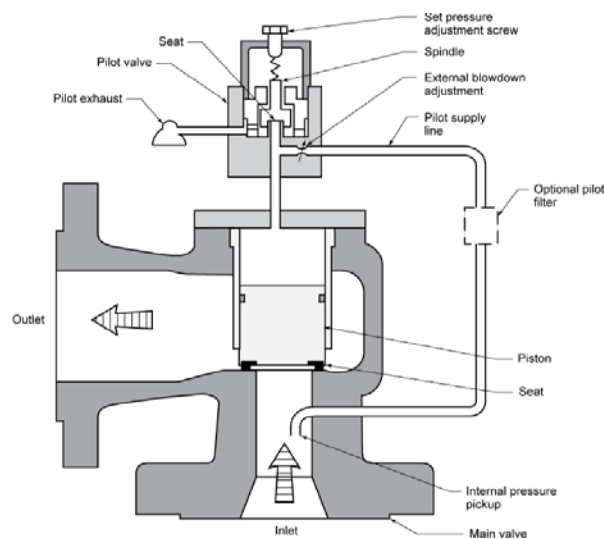


Figura 13– Exemplo de válvula piloto-operada segundo o *API STD 520, Part I (API, 2020)*.

2.2.14 Válvula de segurança (*Safety Valve*)

Válvula de alívio de pressão caracterizada por ter uma abertura rápida, sendo normalmente utilizada para alívio de fluidos compressíveis de acordo com a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*.

Ou, por sua vez, uma válvula de alívio de pressão com mola, atuada pela pressão estática a montante e caracterizada pela abertura rápida ou efeito *pop (pop action)*, normalmente utilizada em fluidos compressíveis de acordo com o *API STD 520, Part I (API, 2020)*.

Segundo *Gross (2004)*, uma válvula de segurança é uma válvula de alívio de pressão acionada pela pressão de entrada, caracterizada por uma abertura rápida ou ação *pop*, sendo normalmente aplicadas em sistemas de vapor ou gás (*Singh & Verma, 2018*).

2.2.15 Válvula de segurança e alívio (*Safety Relief Valve*)

Válvula de alívio de pressão caracterizada por uma abertura rápida, ou por uma abertura

gradual, geralmente proporcional ao aumento de pressão. Pode ser aplicada a fluidos compressíveis e a fluidos incompressíveis de acordo com a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*.

Segundo o *API STD 520, Part I (API, 2020)* trata-se de uma válvula de alívio de pressão com mola que pode ser utilizada como válvula de segurança ou como válvula de alívio dependendo da utilização.

2.3 Normas internacionais e legislação aplicável

Em seguida irá ser apresentado um conjunto de normas e legislação aplicável à temática dos dispositivos de segurança e alívio de pressão referidos no estudo desenvolvido.

2.3.1 ASME PTC 25, Pressure Relief Devices, 2008 Edition

Esta publicação é emitida pela associação americana dos engenheiros mecânicos (ASME) e fornece padrões para efetuar e registrar ensaios de desempenho de dispositivos de alívio de pressão normalmente aplicados em tubagem e equipamentos sob pressão. Este código especifica os métodos e procedimentos para determinar a capacidade de alívio e características operacionais que podem ser exigidas para certificação ou outros fins por outros códigos. A publicação é dividida em três partes: Parte I, “Geral”, Parte II, “Teste de Capacidade de Fluxo” e Parte III, “Testes em serviço e de bancada”.

2.3.2 API STD 510, Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration – Eleventh Edition, October 2022.

Código de inspeção, reparação, alteração e recálculo de reservatórios de pressão e a dispositivos de alívio de pressão associados. Este código é aplicável a recipientes de hidrocarbonetos e processos químicos que foram colocados em serviço, com exceções devidamente identificadas ao longo do documento.

A intenção deste código é especificar um programa de inspeção e verificação de condições necessário para determinar a integridade dos equipamentos sob pressão e dos dispositivos de alívio de pressão.

2.3.3 API STD 520 Part I, Sizing, Selection, and Installation of Pressures-relieving Devices – Tenth Edition, August 2020.

Norma emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que se aplica ao dimensionamento e seleção de dispositivos de alívio de pressão para proteção de equipamentos da indústria com pressão igual ou superior a 15 [psig] (1,034 [bar]). Os dispositivos de alívio de pressão cobertos por esta norma têm a finalidade de proteger equipamentos sob pressão não sujeitos a aquecimento por chama viva contra os efeitos da sobrepressão decorrentes da operação ou em contingência de incêndio.

Esta norma inclui definições básicas e informações sobre as características operacionais e aplicações de vários dispositivos de alívio de pressão.

2.3.4 API STD 520 Part II, Sizing, Selection, and Installation of Pressures-relieving Devices – Seventh Edition, October 2020.

Norma emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que se aplica à instalação de dispositivos de alívio de pressão para proteção de equipamentos da indústria que apresentam uma pressão de funcionamento igual ou superior a 15 [psig] (1,034 [bar]). As válvulas de alívio de pressão ou os discos de ruptura podem ser aplicados individualmente ou de forma combinada para garantir proteção para os efeitos da sobrepressão. No âmbito desta norma o termo válvula de alívio de pressão inclui as válvulas de segurança e alívio usadas tanto para fluidos compressíveis ou incompressíveis assim como as válvulas de alívio utilizadas em serviço de fluidos incompressíveis.

2.3.5 API STD 526, Fanged Steel Pressure-relief Valves – Eighth Edition, August 2023.

Norma emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que apresenta as especificações de compra para as válvulas de alívio de pressão flangeadas em aço. São apresentados os requisitos básicos para válvulas de alívio de pressão acionadas por ação direta da mola e de válvulas de alívio de pressão operadas por piloto.

2.3.6 API STD 527, Seat Tightness of Pressure Relief Valves – Fifth Edition, July 2020.

Norma emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que descreve os métodos para determinar a estanquicidade de dispositivos de alívio de pressão com sede metálica e com sede macia, incluindo válvulas do tipo convencional, de tipo balanceado e acionadas por piloto.

São também apresentados os critérios de aceitação e a passagem aceitável de acordo com a pressão de ajuste e com o diâmetro do orifício para válvulas de alívio de pressão com sede metálica.

2.3.7 API RP 576, Inspection of Pressure-Relieving Devices – Fourth Edition, April 2017.

Prática recomendável emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que descreve as práticas de inspeção e manutenção para dispositivos de alívio de pressão normalmente aplicados na indústria. Como guia de inspeção e manutenção para este tipo de dispositivos tem a finalidade de garantir o seu bom funcionamento. Esta publicação abrange dispositivos de acionamento automático como válvulas de ação direta atuadas por mola, válvula operadas por piloto, válvula de alívio de pressão, discos de ruptura, dispositivos acionados por pino e dispositivos de alívio de pressão e vácuo atuados por peso.

2.3.8 API RP 580, Risk Based Inspection – Fourth Edition, August 2023.

Prática recomendável emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que descreve e explica os elementos básicos para desenvolver, implementar e manter um programa confiável de inspeção baseada no risco (RBI – Risk Based Inspection).

2.3.9 API RP 581, Risk Based Inspection Methodology – Third Edition, April 2016.

Prática recomendável emitida pelo instituto americano do petróleo (API), que estabelece

procedimentos quantitativos de cálculo de probabilidade e consequência de falha, para estabelecer um programa de inspeção com métodos baseados no risco.

2.3.10 API STD 598, Valve Inspection and Testing – Eleventh Edition, February 2023.

Norma emitida pelo instituto americano do petróleo (API), aplicável a inspeção, teste, testes complementares e requisitos de teste de pressão para válvulas.

Os requisitos de inspeção indicados referem-se a ensaios e testes realizados pelo fabricante da válvula assim como outros que o comprador possa solicitar.

Encontram-se abrangidos por esta norma o teste ao corpo, o ensaio de contrapressão, a estanquicidade a baixa e alta pressão, o teste de estanquicidade a válvulas de duplo bloqueio e purga, inspeção visual a peças fundidas e o teste pneumático de alta pressão ao corpo.

2.3.11 Decreto-Lei nº131/2019

Decreto-Lei que Aprova o Regulamento de Instalação e de Funcionamento de Recipientes Sob Pressão Simples (ESPS) e de Equipamentos Sob Pressão (ESP) destinados a conter ar ou azoto a uma pressão máxima admissível superior a 0,5 [bar], ou fluído – líquido, gás ou vapor com uma pressão máxima admissível superior a 0,5 [bar] e com as exceções indicadas no ponto número 2 do artigo segundo do presente regulamento.

2.3.12 Despacho nº22332/2001

Instrução Técnica Complementar (ITC) que estabelece as regras técnicas aplicáveis a Equipamentos Sob Pressão classificados como geradores de vapor ou equiparados de forma a garantir a integridade, funcionamento e conformidade legal desta família de equipamentos, incluindo a realização de inspeções periódicas realizadas por entidades certificadas.

2.3.13 Despacho nº22333/2001

ITC para reservatórios de Gases de Petróleo Liquefeitos (GPL) que estabelece as regras técnicas aplicáveis à instalação e funcionamento de equipamentos sob pressão destinados a conter GPL cuja capacidade esteja compreendida entre 150 e 200000 litros.

2.3.14 Despacho nº11551/2007

ITC para conjuntos processuais de equipamentos sob pressão que estabelece os requisitos técnicos essenciais para a instalação, operação e manutenção de equipamentos sob pressão enquadrados no âmbito legal de conjunto processual. A ITC define obrigações para proprietários e responsáveis de manutenção, incluindo a realização de inspeções periódicas por entidades certificadas e manutenção da documentação técnica.

2.3.15 Despacho nº22260/2007

ITC para GPL que estabelece as regras técnicas aplicáveis a ESP com capacidade superior a 200 metros cúbicos [m³].

2.3.16 Despacho nº24261/2007

ITC que define as regras técnicas aplicáveis a ESP e conjuntos destinados à produção ou armazenagem de gases liquefeitos criogénicos. Este despacho define os requisitos técnicos e legais para garantir a integridade, o funcionamento seguro e a conformidade destes equipamentos especializados, sujeitos a temperaturas extremamente baixas e pressões elevadas. Através da obrigatoriedade de inspeções periódicas por entidades certificadas.

2.3.17 Despacho nº2957/2022

ITC que estabelece as regras técnicas relativas à instalação e funcionamento dos recipientes destinados a conter ar, oxigénio ou gases inertes comprimidos designados por RAC (recipientes destinados a conter ar, oxigénio ou gases inertes comprimidos no estado gasoso, associados ou não a água (hidropneumáticos)).

2.3.18 EN ISO 4126-1:2013

Norma internacional que prescreve os requisitos dos dispositivos de segurança para proteção contra pressão excessiva. A parte 1 trata principalmente de válvulas de segurança.

Capítulo 3

Inspeção e manutenção de dispositivos de segurança e métodos de ensaio

O capítulo 3 descreve os métodos de ensaio e ações de manutenção executadas para verificação de condição e ajuste final das válvulas de segurança e alívio, sendo dado particular destaque ao ensaio em bancada de teste e aos resultados obtidos, pois de uma forma global é o ensaio que indica o estado de conservação do dispositivo de alívio de pressão após retirada de serviço.

Com base nos resultados obtidos no ensaio em bancada vai ser também indicado neste capítulo como são estabelecidos os intervalos de manutenção destes dispositivos na RP.Lda.

3.1 Verificação da condição

A razão principal para inspecionar os dispositivos de alívio de pressão é garantir que estes providenciam a proteção das pessoas e dos equipamentos em situações de sobrepressão, que podem ocorrer devido a perturbações processuais, incêndios externos ou outros perigos. As inspeções a este tipo de dispositivos devem determinar o seu estado geral e garantir que o seu desempenho vai ao encontro dos requisitos da instalação.

Após um determinado período de funcionamento dos dispositivos de segurança é necessário executar tarefas de manutenção, de forma a preservar o seu estado de conservação e ao mesmo tempo, verificar as condições em que estes se apresentam em serviço, de forma a adequar o intervalo de tempo entre verificações.

Com esse objetivo podem ser efetuados três tipos de ensaio, sendo estes, os ensaios em funcionamento real, os ensaios em que se aplica uma força externa de forma a acionar o dispositivo de segurança (*trevitest*) e os ensaios realizados em bancada de teste.

3.2 Ensaio real

Este ensaio realiza-se com o equipamento onde o dispositivo de segurança está instalado em serviço. É necessário efetuar a sua pressurização até que seja atingido o valor de acionamento do dispositivo (abertura da válvula).

Trata-se de um tipo de ensaio que acarreta vários riscos e que não pode ser aplicado a todos os equipamentos.

De acordo com o *ASME PTC25 (2008)*, o objetivo deste teste é garantir que nas condições de serviço a válvula está a abrir no valor a que foi ajustada, não sendo necessariamente demonstrado que esta está em conformidade com as especificações deste código.

3.3 Trevitest – Ensaio com aplicação de força externa

Tendo por base o código para execução de testes de desempenho *ASME PTC25*, em instalações onde não seja desejável aumentar a pressão acima do valor de funcionamento normal, podem ser utilizados equipamentos auxiliares de elevação (abertura), de acordo com os procedimentos e recomendações do fabricante do dispositivo de alívio de pressão. Estes equipamentos auxiliares, fornecem uma força adicional que permite superar a força da mola que atua sobre o disco, possibilitando a abertura da válvula.

Ao se manter a pressão do sistema e com a aplicação do dispositivo de elevação assistido na haste da válvula, é fornecida uma força de tração até que a válvula abra. A abertura da válvula é caracterizada por um som audível, pela queda momentânea na carga fornecida à haste e pela libertação de fluido do sistema. No momento da abertura são feitas leituras simultâneas de valores de pressão do sistema e da carga aplicada pelo dispositivo auxiliar. Nesse momento deixa também de ser aplicada a carga pelo dispositivo auxiliar.

Os dispositivos auxiliares de elevação (abertura) podem ser operados manualmente, de forma semiautomática ou automaticamente.

3.4 Verificação e inspeção em oficina

Os dispositivos de alívio de pressão devem ser retirados de serviço, desmontados e inspecionados periodicamente. Na indústria do refino e na indústria petroquímica normalmente é tomada como referência a prática recomendável *API RP 576 (API, 2017)* no que concerne às tarefas de inspeção e de manutenção.

Tendo em consideração a prática recomendável indicada no parágrafo anterior, são apresentadas um conjunto de considerações a seguir para a execução da verificação das válvulas de alívio de pressão, tais como a segurança na execução da tarefa, a identificação da válvula, as condições de serviço observadas, a remoção do dispositivo do sistema em funcionamento, a inspeção inicial, a inspeção às tubagens adjacentes de entrada e descarga da válvula, o transporte dos dispositivos para oficina e por fim, as tarefas de inspeção, teste e manutenção a executar.

3.4.1 Inspeção inicial e verificação de tubagens adjacentes

Assim que a válvula é removida do equipamento ou sistema em que está instalada deve ser feita uma inspeção visual de forma a avaliar o estado inicial da mesma, assim como das tubagens adjacentes de entrada e descarga. Alguns tipos de depósito ou produtos de corrosão podem ser perdidos durante as tarefas de desmontagem ou no transporte para oficina. A observação inicial destas indicações pode ser importante na análise dos resultados do teste a efetuar em bancada, permitindo assim identificar o motivo de falha.

3.4.2 Transporte de dispositivos de segurança

Outro fator a ter em consideração para efetuar uma análise correta da condição da válvula é o manuseamento e o transporte desde o momento em que esta é desmontada da instalação industrial até ser testada na oficina.

De acordo com a prática recomendável *API RP 576 (API, 2017)*, o transporte de válvulas flangeadas deve ser feito na vertical, sendo estas presas por exemplo a paletes através de aplicação de pernos. No caso da válvula a transportar ser roscada, deve-se garantir dessa ação não resultem danos nas ligações roscadas.

Apresenta-se na figura 14 um exemplo de um cesto de transporte para válvulas de segurança na posição vertical.



Figura 14 – Cesto de transporte de válvulas (fonte própria em contexto laboral).

3.4.3 Ensaio em bancada

O ensaio de bancada é o ensaio utilizado de forma mais frequente e que apresenta menos riscos na execução uma vez que o dispositivo de segurança é removido do seu local de instalação e posteriormente montado numa bancada de teste, onde as condições de pressurização são controladas. É utilizada uma fonte de pressão externa, sendo comum e recomendável a utilização de fluídos compressíveis (ar ou azoto, por exemplo), para testar válvulas em que o fluído de serviço seja gasoso, por outro lado, é recomendável a utilização de vapor para testar válvulas em que o fluído de serviço seja vapor e por fim, recomenda-se a utilização de fluídos incompressíveis para efetuar testes em válvulas cujo serviço esteja no estado líquido, de acordo com a *ASME PTC25 (ASME, 2008)*.

Na figura 15 apresenta-se um exemplo de uma válvula de segurança e alívio de pressão a ser testada na bancada de ensaio.



Figura 15 – Ensaio em bancada (fonte própria em contexto laboral).

3.4.3.1 Determinar a pressão de abertura após serviço (*Determining “As-received” Pop Pressure*)

Após a chegada da válvula à oficina, garantindo que as condições de manuseamento e transporte foram adequadas e que essas operações não afetam de forma prejudicial a válvula, deve-se efetuar, sempre que possível um ensaio *pop*, antes de se efetuar a limpeza da mesma, de forma a garantir que os resultados obtidos sejam precisos. Estes resultados irão ajudar a estabelecer um intervalo de inspeção e manutenção adequados.

Para determinar a pressão de abertura após serviço a válvula deve ser montada na bancada de ensaio. Posteriormente a pressão no lado da entrada deve ir aumentando lentamente até ser atingido o valor de abertura, sendo este registrado e definido como *as-received pop test*.

3.4.3.2 Resultados obtidos no ensaio de bancada (*“As-received” Pop Test Results*)

Os resultados obtidos no ensaio *pop* devem ser analisados, sendo importante perceber em caso de falha qual a causa raiz que origina esse desvio, para poder tomar as ações corretivas necessárias à sua resolução.

As falhas no ensaio *pop* após serviço podem ser classificadas de várias formas de acordo com o *API RP 576 (API, 2017)*:

- Abertura bloqueada ou falha na abertura, normalmente também designado como válvula colada;
- Dispositivo abre parcialmente;
- Abertura acima da tolerância da pressão definida;
- Válvula com passagem;
- Abertura espontânea prematura;
- Dispositivo bloqueado na posição de aberto.

Decorrente da análise efetuada aos valores obtidos no ensaio *pop* o utilizador deve definir o critério que determina o que é considerado como falha e quais os níveis de ação/investigação que se devem aplicar com base no desvio verificado. Estas ações devem ser baseadas na percentagem de desvio em relação ao valor de abertura a frio (*Set Pressure*) do dispositivo. Como critério padrão, muitas empresas consideram que se uma válvula for pressurizada no teste em bancada até um valor de 150[%] do seu *Set Pressure* e não abrir é considerada como falha na abertura e o teste dá-se por finalizado. Outro critério mais conservativo é apresentado no *API RP 581 (API, 2016)*, que indica como 130[%] do valor de ajuste a frio para que se considere como falha na abertura.

3.4.4 Inspeção visual

Após ser efetuado o ensaio *pop* deve ser feita uma verificação de condição da válvula, verificação essa que pode ser efetuada pelo executante da ação de manutenção, desde que esta não apresente corrosão severa, depósitos ou alguma condição anormal que necessite de análise mais precisa, sendo conveniente informar o proprietário/utilizador das anomalias identificadas,

por forma a se atuar em conformidade.

3.5 Tarefas de manutenção

Com base no resultado dos ensaios realizados à válvula, quer sejam estes efetuados em campo ou em oficina é determinada a necessidade de execução de tarefas de manutenção que permitam garantir a operacionalidade e fiabilidade da mesma. Normalmente estas tarefas contemplam a sua desmontagem, limpeza e verificação de componentes assim como o acondicionamento ou substituição de elementos que se apresentem com anomalias.

3.5.1 Desmontagem da válvula

No seguimento do processo de verificação e manutenção dos dispositivos de segurança e alívio, estando o ensaio *pop* e a verificação inicial efetuada, pode ser necessário desmontar a válvula para inspeção dos componentes internos ou para reparação. Existe também a possibilidade da desmontagem não ser requerida, isto se se verificar que os resultados obtidos no ensaio *pop* são aceitáveis e que o intervalo de verificação está a ser cumprido dentro do planeado.

Na figura 16 apresenta-se o início de desmontagem da válvula, tendo nesta fase sido removido o capacete.



Figura 16 – Válvula de segurança em processo de desmontagem (fonte própria em contexto laboral).

3.5.2 Verificação e limpeza de componentes

Caso se determine que a válvula necessita ser desmontada deve-se garantir que os componentes são devidamente separados e identificados para que não ocorram trocas com

outros que possam estar simultaneamente a ser intervencionados em oficina. Normalmente os componentes que carecem de limpeza mais frequente são as tubuladuras, a mola, o suporte do obturador, a guia e o disco/obturador. A limpeza de componentes pode ser efetuada com a aplicação de solventes adequados, com recurso a escova de aço de ação manual ou mecânica, através da decapagem com microesferas de vidro ou com recurso a raspagem.

Terminada a fase de limpeza dos componentes, deve ser feita a sua verificação e controlo dimensional tendo sempre como referência os desenhos técnicos e a literatura aplicável.

Na figura 17 são apresentados os componentes internos da válvula, após a sua desmontagem.



Figura 17 – Componentes de válvulas de segurança (fonte própria em contexto laboral).

3.5.3 Recondicionamento e substituição de componentes

Caso seja identificado desgaste ou corrosão, assim como desvios dimensionais acima das tolerâncias indicadas pelo fabricante os componentes devem ser recondicionados ou substituídos.

Uma das intervenções mais comuns na beneficiação de válvulas de segurança é a lapidação das faces assentamento entre a sede e o obturador, de forma a garantir que estes quando estão em contacto asseguram a estanquicidade da válvula. Por vezes a lapidação não é suficiente, podendo-se recorrer à maquinação destes componentes para resolver os defeitos detetados. Caso estas medidas sejam eficazes, não é necessário substituir os componentes.

3.5.4 Montagem de válvula

Terminadas as tarefas de verificação e manutenção/substituição de componentes internos estão reunidas as condições para voltar a montar a válvula de segurança, de acordo com as instruções do fabricante.

As faces de assentamento entre a sede e o obturador não devem ser oleadas e devem estar limpa de sujidades, as folgas entre componentes devem ser verificadas, a mola deve ser ajustada para o valor mais próximo do valor de funcionamento possível e os anéis de regulação

posicionados na posição adequada ao funcionamento do dispositivo.

O exemplo da figura 18 apresenta uma válvula de segurança e alívio montada após intervenção de manutenção.



Figura 18 – Válvula após montagem (fonte própria em contexto laboral).

3.6 Testes após montagem da válvula

Finalizadas as tarefas de manutenção e efetuada a montagem final da válvula deverá ser feito o ajuste do valor da pressão de abertura e a verificação da estanquicidade de acordo com os critérios de aceitação estabelecidos, de forma a garantir que a válvula está aceitável para ser instalada e entrar em serviço.

3.6.1 Ajuste de valor de pressão de abertura

Uma vez que a válvula se encontra recondicionada e montada, deve-se ajustar a mola, garantido que a válvula irá abrir no valor de pressão desejado (*CDSP* – valor de ajuste a frio). Esta tarefa normalmente é efetuada com a válvula montada na bancada de ensaio, sendo a mesma pressurizada para atestar o seu comportamento. Com base no resultado dessa pressurização são efetuados os ajustes necessários (comprimindo ou aliviando a mola através do parafuso de ajuste).

3.6.2 Verificação de estanquicidade

Após a válvula ser ajustada e ser garantido que o valor de abertura a frio está correto, deve-se garantir que a mesma apresenta estanquicidade. Este ensaio é executado também com a válvula montada na bancada de ensaio. De uma forma geral, consiste em pressurizar a válvula a noventa por cento do valor de abertura a frio e verificar se existe passagem de pressão no lado da descarga do dispositivo. A forma de executar o ensaio e os critérios de aceitação estão

definidos no standard *API STD 527 (API,2020)*.

3.7 Registos e documentação associada

Antes da válvula ser novamente colocada em serviço, devem ser efetuados todos os registos de acompanhamento de intervenção assim como emitidos os respetivos certificados de ensaio. Normalmente a certificação é emitida por uma 3ª parte independente, normalmente um organismo de inspeção acreditado para o efeito.

3.7.1 Fichas de acompanhamento de intervenção

As fichas de acompanhamento de reparação têm o objetivo de relatar o estado da válvula e dos seus componentes, indicar o valor de abertura da mesma após ser retirada de serviço, indicar as ações de manutenção efetuadas, eventuais substituições de componentes ou recomendações de a considerar de futuro, assim como apresentar os resultados no ensaio de estanquicidade efetuado posteriormente à intervenção de manutenção.

3.7.2 Certificados de verificação

A emissão do certificado de verificação por parte do organismo de inspeção externo garante que o dispositivo de segurança intervencionado apresentou na data de execução do ensaio, as condições de operacionalidade requeridas, estando de acordo com os critérios de aceitação tomados como referência.

3.8 Intervalos de manutenção estabelecidos na RP.Lda

Cada dispositivo de segurança e alívio é considerado como um equipamento individual e apresenta uma periodicidade específica para que sejam efetuadas as atividades de manutenção.

Desta forma, é possível estabelecer previamente as datas de verificação em que estes dispositivos devem ser intervencionados, tendo em conta diversos fatores tais como as obrigatoriedades legais, no caso de dispositivos de segurança e alívio que protegem equipamentos licenciados, as disponibilidades processuais necessárias para a realização dessas verificações, a existência de sistemas de *interlock* (válvula de reserva) que permitam realizar a operação de verificação, ou os resultados obtidos no último ensaio em bancada e estado de conservação do dispositivo aquando dessa inspeção.

De acordo com o código *API STD 510 (API, 2022)*, os intervalos de inspeção recomendados para verificação de válvulas de segurança e alívio devem ser adequados de forma a garantir a operação de forma fiável do dispositivo, não ultrapassando os 5 anos para válvulas que em serviço está relacionado com produtos comuns da indústria e 10 anos para válvulas cujo serviço está relacionado com produtos extremamente limpos e que não apresentem propriedades incrustantes ou corrosivas.

3.9 Periodicidade de planos de manutenção associados a válvulas de segurança e alívio de pressão implementados

Atualmente as válvulas de segurança e alívio de pressão existentes na RP.Lda, apresentam intervalos de verificação que podem variar entre 1 e 6 anos, de acordo com a situação específica de cada válvula.

3.9.1 Um ano

Válvulas que ao serem testadas se apresentem coladas ou que tenham um desvio superior a 30% em relação ao *Set pressure* no ensaio pré-pop;

Válvulas do tanque de etileno e do tanque de propileno localizados no terminal petroquímico.

3.9.2 Dois anos

Válvulas cuja periodicidade normal de verificação são 4 anos, mas que no ensaio em bancada apresentam um desvio superior a 10% e inferior a 30% em relação ao *Set pressure*.

3.9.3 Três anos

Válvulas que por obrigações legais estão associadas a equipamentos com inspeções regulamentares que exigem a verificação do dispositivo de segurança nesse período.

3.9.4 Quatro anos

Válvulas que por obrigações legais estão associadas a equipamentos com inspeções regulamentares que exigem a verificação do dispositivo de segurança nesse período.

Válvulas sem obrigações legais de verificação e que apresentem histórico de verificação normal (intervalo entre verificações maioritariamente adotado).

3.9.5 Cinco anos

Válvulas que por obrigações legais estão associadas a equipamentos com inspeções regulamentares que exigem a verificação do dispositivo de segurança nesse período.

3.9.6 Seis anos

Válvulas que por obrigações legais estão associadas a equipamentos com inspeções regulamentares que exigem a verificação do dispositivo de segurança nesse período.

Válvulas que por limitações processuais apenas podem ser verificadas em paragem geral.

3.10 Critérios de desvio analisados

São considerados desvios no ensaio em bancada todas as diferenças entre o valor de abertura registado e o *CDST* (valor de ajuste a frio), sendo este indicador expresso em

percentagem.

De acordo com o *API RP 576 (API, 2017)*, referente à inspeção de dispositivos de alívio de pressão, o registo do valor do *pop* teste deve ser feito como os seguintes critérios:

- Se o valor de abertura no ensaio em bancada for igual ao valor de ajuste a frio (*CDSP*), é registado como valor *pop* teste.
- No caso de o valor de abertura ser superior ao valor de *CDSP*, deve ser realizado um segundo teste. Se nesse teste o valor estiver próximo do valor de ajuste a frio, pode-se considerar que a válvula não abriu devido a depósitos, sendo o valor abertura registado.
- Para desvios superiores a 150% em relação ao valor de ajuste a frio, deve-se considerar a válvula como colada.

As gamas de desvio consideradas atualmente na RP.Lda são:

Valor de abertura indeterminado	Situações em que a válvula se encontra danificada, ou não é possível especificar o valor de abertura
Até 10[%] em relação ao <i>CDSP</i>	Valor de abertura registado com uma diferença não superior a 10[%] em relação ao <i>CDSP</i>
Entre 10 e 30[%]	Valor de abertura registado com uma diferença superior a 10[%] em relação ao <i>CDSP</i> e inferior a 30[%]
Superior a 30[%] – Falha na abertura	Valor de abertura registado com uma diferença superior a 30[%] em relação ao <i>CDSP</i>
Colada	Situações em que a válvula não abre após pressurização

Tabela 1 – Gamas de desvio consideradas

A abordagem utilizada considera uma falha na abertura para valores de desvio superiores a 30[%], o que é um fator mais conservativo que os 50[%] referidos no *API RP 576 (API, 2017)*.

Capítulo 4

Ensaio realizados e desvios identificados (2009-2024)

O capítulo 4 apresenta uma síntese dos desvios identificados durante os ensaios em bancada realizados a válvulas de segurança e de alívio de pressão no período compreendido entre 2009 e 2024. Entre 2009 e 2016 distinguem-se três fases: a primeira, entre 2009 e 2011, marcada pela existência exclusiva de registos físicos; a segunda, entre 2011 e 2014, caracterizada pela informatização gradual dos dados e pela criação inicial de uma base de dados técnica; e a terceira, iniciada em 2014, com digitalização completa dos resultados e adoção de critérios de análise mais rigorosos. Este processo permitiu consolidar práticas de verificação e evidenciar a necessidade de um sistema digital de gestão. A análise referente ao período de 2017 a 2024 beneficiou do amadurecimento desse sistema e de critérios de avaliação mais robustos. Desde 2016 consideram-se desvios a não abertura do dispositivo ou aberturas cujo valor exceda 10% do ajuste a frio. Para efeitos de apresentação dos resultados, os dispositivos avaliados foram organizados em nove áreas processuais.

4.1. Áreas processuais e contabilização de dispositivos de segurança e alívio de pressão

A RP.Lda apresenta nas suas instalações processuais vários dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Na análise apresentada são consideradas nove áreas processuais, doravante denominadas como área A, B, C, D, E, F, G, H e I. Nestas áreas apresentam-se um total de 1916 elementos de segurança e alívio de pressão.

A unidade processual que apresenta o maior número de dispositivos tem um total de 615, o que representa cerca de 32[%] do total de dispositivos contabilizados. No extremo oposto a unidade processual com menor contabilização de dispositivos apresenta um total de 20, o que representa cerca de 1[%] do total contabilizado.

4.2. Válvulas verificadas e desvios registados no período de 2009 a 2016

No gráfico da figura 19 apresenta-se o total de ensaios realizados no período decorrente entre 2009 e 2016, sendo também indicado o número de falhas de abertura, assim com a percentagem relativa dessas falhas.

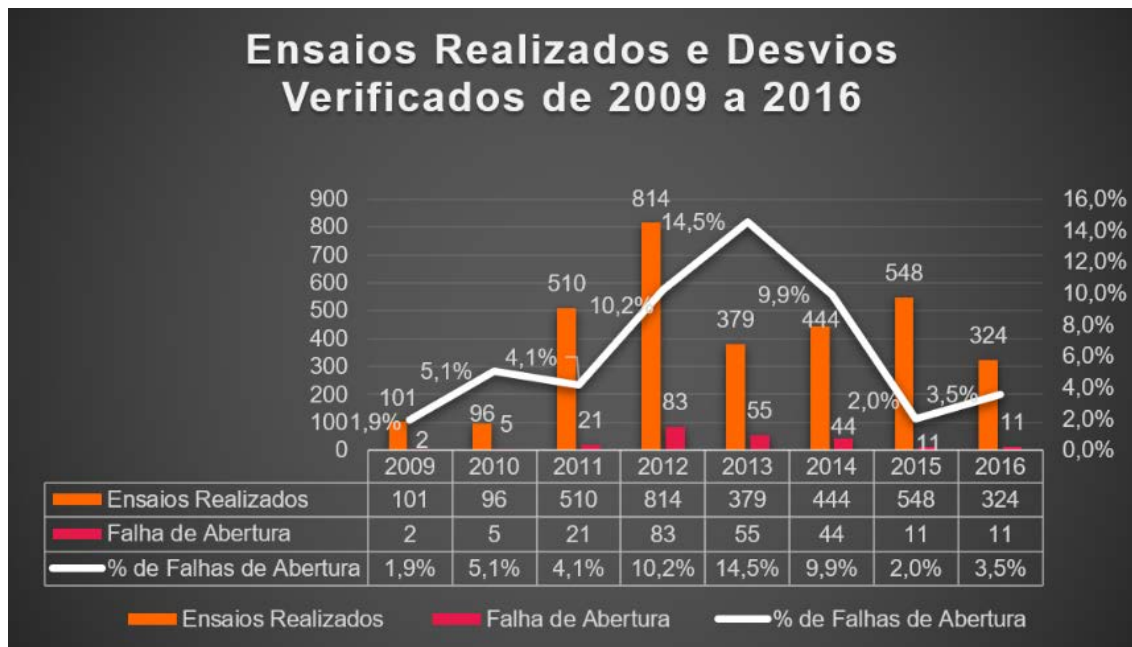


Figura 19 – Ensaio realizados e desvios verificados no período de 2009 a 2016

4.3. Válvulas verificadas e desvios registados em 2017

O gráfico da figura 20 é apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por

unidade processual durante o ano de 2017.

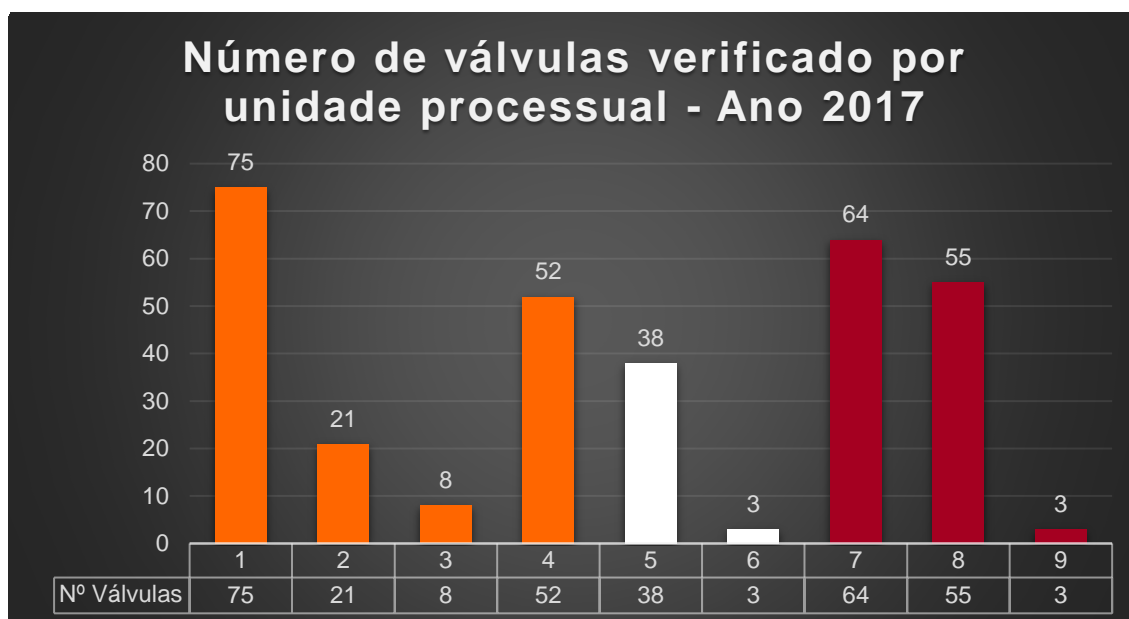


Figura 20 – Ensaios efetuados por unidade processual no ano de 2017

A Tabela 2 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
17/04/2017	PSV0109A	Butadieno	3,06	4,12	34,64	3,75	22,55	>10 <30
20/01/2017	PSV0601	Propileno	23,00	26,00	13,04	26	13,04	>10 <30
09/03/2017	PSV2042	Água	5,17	6,00	16,05	5,9	14,12	>10 <30
27/01/2017	PSV7903	Água	7,00	8,00	14,29	7,8	11,43	>10 <30
31/01/2017	PSV7907	ML	16,40	18,50	12,8	18,3	11,59	>10 <30
07/03/2017	PSV8192	Água	7,57	-	-	-	-	Colada
28/04/2017	PSV2002	Água	7,00	-	-	-	-	Colada

Tabela 2 – Desvios identificados no ano de 2017

4.3.1. Análise de desvios identificados no ano de 2017

No decorrer do ano de 2017 foram realizados 329 ensaios de bancada.

Da análise efetuada aos resultados obtidos identificam-se 7 desvios, sendo importante referir que em duas situações a válvula não abriu no ensaio de bancada.

O fluído de serviço que se identifica com maior número de desvios identificado é água.

Como é possível verificar na figura 21 a PSV8192 apresenta depósitos no corpo assim como corrosão em alguns componentes internos.



Figura 21 – Componentes internos da PSV8192 (fonte própria em contexto laboral).

Na figura 22 é possível identificar a existência de depósitos no corpo da válvula, assim como corrosão dos componentes internos.



Figura 22 – Componentes internos da PSV2002 (fonte própria em contexto laboral).

Como se verifica nas figuras 21 e 22, os depósitos acumulados no interior de ambas as válvulas para além de colmatarem os componentes internos impossibilitando a abertura da válvula promovem também a sua degradação por corrosão.

4.4. Válvulas verificadas e desvios registados em 2018

O gráfico da figura 23 apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2018.

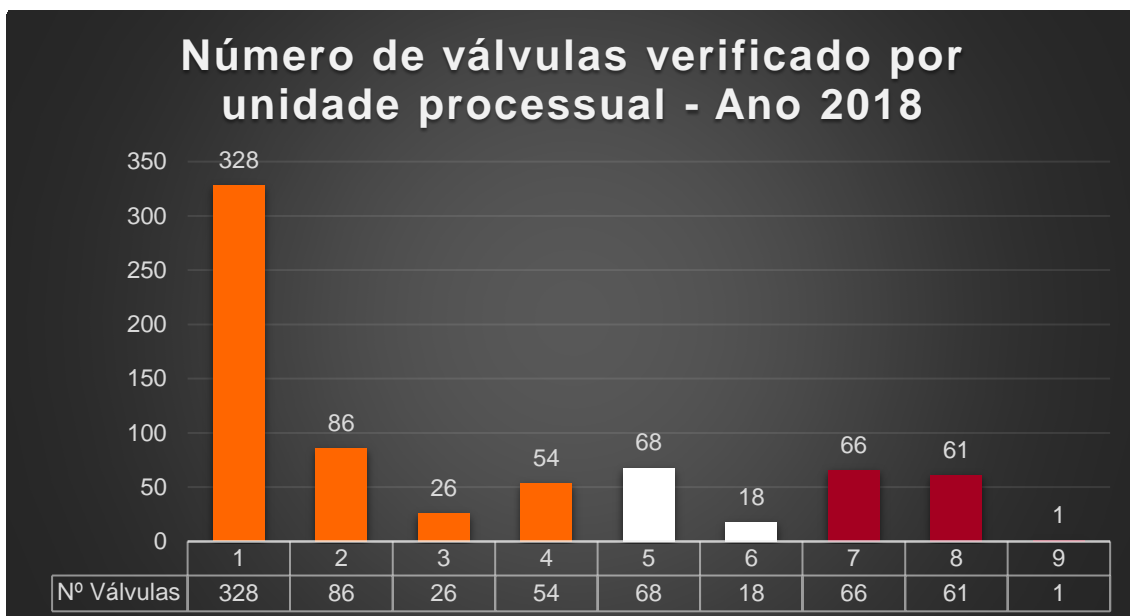


Figura 23 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2018

A Tabela 3 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluido	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
18/01/2018	PSV0112A	DMF+C ₄	3,06	3,50	14,38	3,40	11,11	>10 <30
16/01/2018	PSV0112B	DMF+C ₄	3,06	3,60	17,65	3,50	14,38	>10 <30
22/05/2018	PSV0118B	C ₄	7,40	8,90	20,27	8,90	20,27	>10 <30
08/06/2018	PSV0135	Água	10,00	11,30	13,00	11,20	12,00	>10 <30
19/05/2018	PSV0205	C ₄	0,50	-	-	-	-	Colada
19/05/2018	PSV0208	DMF	8,50	10,30	21,18	-	-	>10 <30
13/06/2018	PSV0211	Água	10,00	11,70	17,00	11,20	12,00	>10 <30
15/05/2018	PSV0212	Água	10,00	12,40	24,00	12,00	20,00	>10 <30
11/06/2018	PSV0310A	C ₄	7,40	-	-	-	-	Colada
17/05/2018	PSV0320	Água	10,00	13,30	33,00	13,20	32,00	> 30
14/05/2018	PSV0322	Água	10,00	-	-	-	-	Colada
16/05/2018	PSV1501A	Azoto	3,00	3,80	26,67	3,60	20,00	>10 <30
12/06/2018	PSV0343R	Propileno	3,00	3,70	23,30	-	-	>10 <30
11/06/2018	PSV0353	Propileno	10,00	11,90	19,00	11,30	13,00	>10 <30
20/06/2018	PSV21030	Butadieno	17,20	27,00	56,98	-	-	> 30
30/05/2018	PSV3610	Água	8,00	11,60	45,00	9,20	15,00	>10 <30
15/05/2018	PSV3612	Água	8,00	-	-	-	-	Colada
16/05/2018	PSV3613	Água	6,60	-	-	-	-	Colada
22/05/2018	PSV2024	Vapor	7,00	9,20	31,42	8,20	17,14	>10 <30
02/06/2018	PSV3003	Brine	5,88	7,60	29,25	7,00	19,05	>10 <30
31/05/2018	PSV3063	ML	16,40	-	-	-	-	Colada
04/06/2018	PSV7015	Brine	5,88	7,70	30,95	7,70	30,95	> 30
05/06/2018	PSV8122	Ar	0,03	-	-	-	-	Colada
03/06/2018	PSV2001	Vapor	18,54	23,00	24,06	22,00	18,67	>10 <30
08/05/2018	PSV2103	Água	7,00	7,90	12,86	7,80	11,43	>10 <30
07/06/2018	PSV21811	Nafta	11,00	16,00	45,45	12,80	16,36	>10 <30
08/05/2018	PSV2406	Água	7,00	8,60	22,86	8,30	18,57	>10 <30
17/01/2018	PSV2414	Água	7,00	-	-	-	-	Colada
08/05/2018	PSV2703	Água	7,00	9,20	31,43	8,60	22,86	>10 <30
08/05/2018	PSV4017	Água	7,00	10,10	44,29	8,60	22,86	>10 <30
12/11/2018	PSV4502A	Hidrogénio	39,00	48,00	23,08	47,50	21,79	>10 <30
07/06/2018	PSV5823	Propileno	38,00	-	-	-	-	Colada
21/05/2018	PSV6809	C ₄	9,90	14,00	41,41	13,00	31,31	> 30
07/06/2018	PSV7803	Gasolina	6,70	7,70	14,93	7,60	13,43	>10 <30
11/06/2018	PSV7899	Gasolina	14,70	16,80	14,29	16,30	10,88	>10 <30
14/06/2018	PSV8508	Inibidor de Polímero	40,00	-	-	-	-	Colada
02/06/2018	PSV9109	Nafta	17,20	24,00	39,53	-	-	> 30
28/11/2018	PSV09206	Hidrocarboretos	10,30	13,60	32,04	13,50	31,07	> 30
03/07/2018	PSV0413	Propileno	30,00	40,10	33,67	40,30	34,33	> 30
29/05/2018	PSV29009	Gás Natural	8,00	8,90	11,25	8,90	11,25	>10 <30
09/08/2018	PSV3902B	Fuel Óleo	27,00	-	-	-	-	Colada
05/11/2018	PSV4106A	Água	0,74	0,90	21,62	0,86	16,22	>10 <30

Tabela 3 – Desvios identificados no ano de 2018

4.4.1. Análise de desvios identificados no ano de 2018

No decorrer do ano de 2018 foram realizados 708 ensaios de bancada. A execução deste número de testes foi possível por ocorrer um período de paragem geral, ou seja, todas as unidades processuais da RP.Lda estiveram paradas para efetuar trabalhos de manutenção.

Da análise efetuada aos resultados obtidos identificam-se 42 desvios, sendo importante referir que em 11 situações a válvula não abriu no ensaio de bancada.

O fluido de serviço que se identifica com maior número de desvios identificado é água.

4.5. Válvulas verificadas e desvios registados em 2019

O gráfico da figura 24 apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2019.

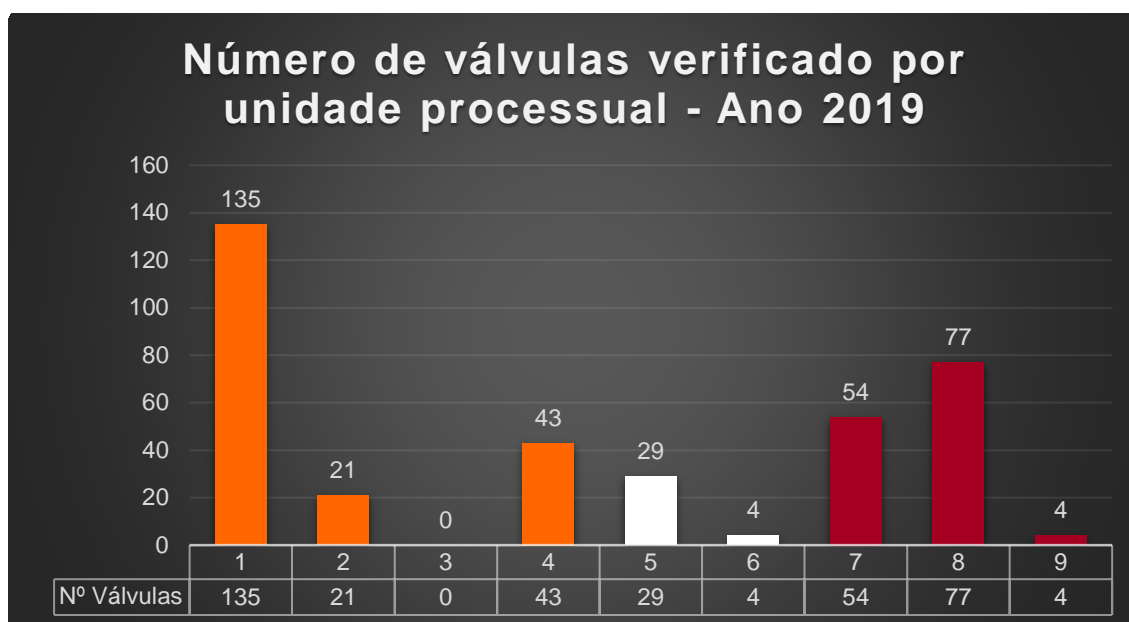


Figura 24 – Ensaio efetuados por unidade processual no ano de 2019

A tabela 4 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
07/03/2019	PSV0242	Etileno	19,00	23,30	22,63	23,00	21,05	>10 <30
04/09/2019	PSV1536	Água	6,60	-	-	-	-	Colada
30/10/2019	PSV2387	Fluído Térmico	6,80	-	-	-	-	Colada
20/11/2019	PSV3024	Água	6,00	7,10	18,33	7,10	18,33	>10 <30
04/04/2019	PSV3204	Água	5,00	-	-	-	-	Colada
05/11/2019	PSV1006D	Azoto	0,98	1,10	12,24	1,10	12,24	>10 <30
25/06/2019	PSV2024	Água	7,00	8,90	27,14	8,80	25,71	>10 <30
04/12/2019	PSV2707	Água	7,00	8,60	22,86	8,40	20,00	>10 <30
26/02/2019	PSV3002C	C ₂	6,00	9,00	50,00	8,60	43,33	Colada
22/01/2019	PSV3007	Água+HC	43,00	-	-	-	-	Colada
08/04/2019	PSV3008	HC	43,50	59,00	36,63	58,00	33,33	Colada
09/07/2019	PSV4009A	Etileno	26,00	35,00	34,61	34,00	30,77	Colada
25/11/2019	PSV7205	Gasolina	56,00	71,90	21,86	71,60	21,35	Colada

Tabela 4 – Desvios identificados no ano de 2019

4.5.1. Análise de desvios identificados no ano de 2019

No decorrer do ano de 2019 foram realizados 367 ensaios de bancada.

Os resultados obtidos indicam 13 desvios, dos quais, 8 não permitiram a abertura da válvula no ensaio de bancada.

Dos 13 desvios verificados e relacionando com o fluído de funcionamento, identifica-se que 5 válvulas apresentam serviço de água.

Nas figuras 25, 26, 27 e 28 apresentam-se o registo fotográfico dos componentes internos de algumas válvulas intervencionadas e que apresentaram desvios.

É possível identificar depósitos nos componentes internos da PSV2387, como apresentado na figura 25.

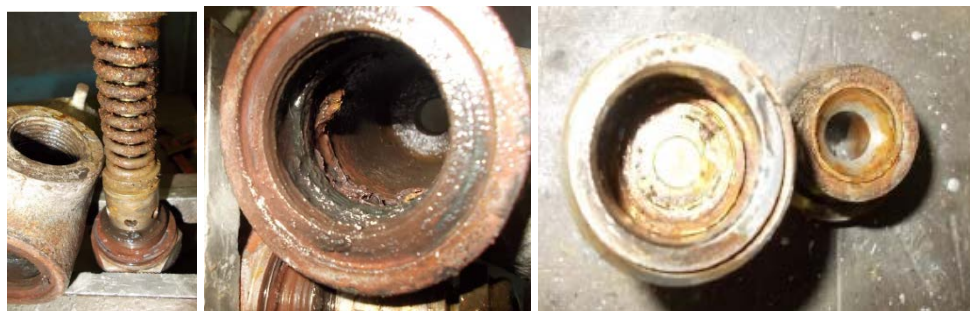


Figura 25 – Componentes internos da PSV2387 (fonte própria em contexto laboral).

À semelhança do que foi identificado na PSV2387 verifica-se igualmente a existência de depósitos na PSV3204, como visível na figura 26.



Figura 26 – Componentes internos da PSV3204 (fonte própria em contexto laboral).

A figura 27 indica que a PSV3002C apresenta depósitos no interior e início de corrosão na mola.



Figura 27 – Componentes internos da PSV3002C (fonte própria em contexto laboral).

Verifica-se, na figura 28, que a PSV3007 apresenta corrosão externa e que o obturador se encontra preso na guia.



Figura 28 – Componentes internos da PSV3007 (fonte própria em contexto laboral).

4.6. Válvulas verificadas e desvios registados em 2020

O gráfico da figura 29 é apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2020.

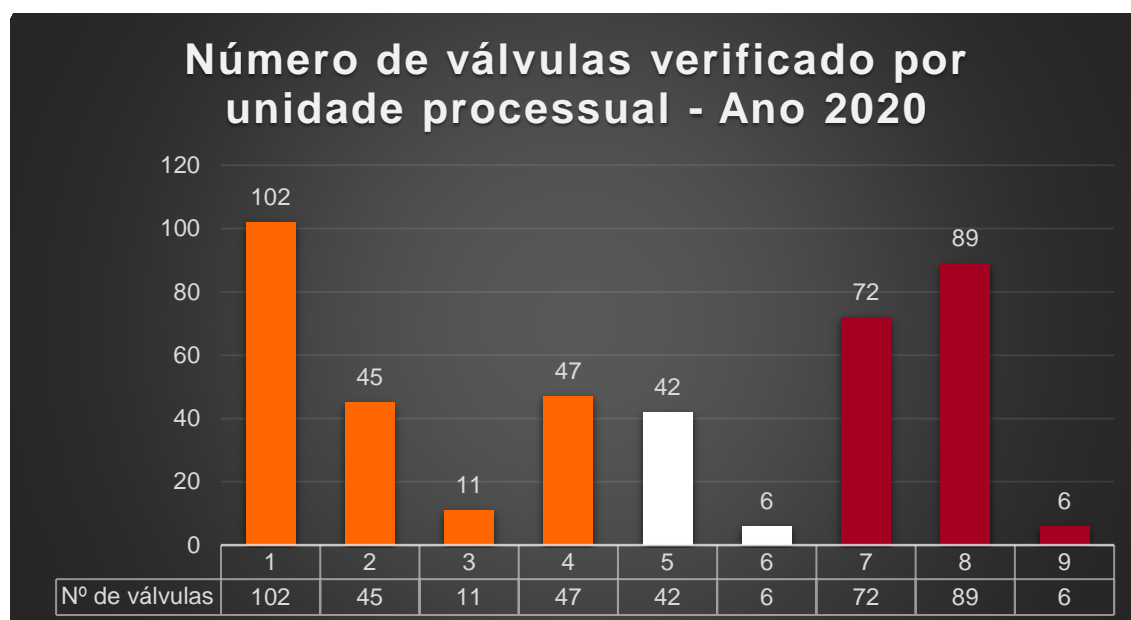


Figura 29 – Ensaios efetuados por unidade processual no ano de 2020

A Tabela 5 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
27/10/2020	PSV21451	NaOH	7,00	8,40	20,00	8,30	18,57	>10 <30
09/07/2020	PSV0408	Polieletrólito	2,90	4,20	44,83	4,20	44,83	Colada
20/02/2020	PSV3126	Água	8,00	8,90	11,25	-	-	>10 <30
23/09/2020	PSV9113	Ar	0,85	0,95	11,76	0,95	11,76	>10 <30
07/02/2020	PSV2003	Água	7,00	-	-	-	-	Colada
06/02/2020	PSV2207	Nafta	18,66	20,90	12,00	20,60	10,40	>10 <30
14/09/2020	PSVX3114	Fuel Óleo	23,50	26,00	10,64	26,00	10,64	>10 <30

Tabela 5 – Desvios identificados no ano de 2020

4.6.1. Análise de desvios identificados no ano de 2020

No decorrer do ano de 2020 foram realizados 420 ensaios de bancada sendo identificados 7 desvios em relação ao valor de abertura.

A válvula PSV2003 não abriu no pré-teste realizado.

Dos 7 desvios verificados e relacionando com o fluido de funcionamento, identifica-se que 2 válvulas apresentam serviço de água.

Na figura 30 é possível verificar os componentes internos da PSV21451 com depósitos e na figura 31 a mola da PSV2003 com diminuição da secção das espiras, por corrosão.



Figura 30 – Componentes internos da PSV21451 (fonte própria em contexto laboral).



Figura 31 – Mola da PSV2003 (fonte própria em contexto laboral).

4.7. Válvulas verificadas e desvios registados em 2021

O gráfico da figura 32 apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2021.

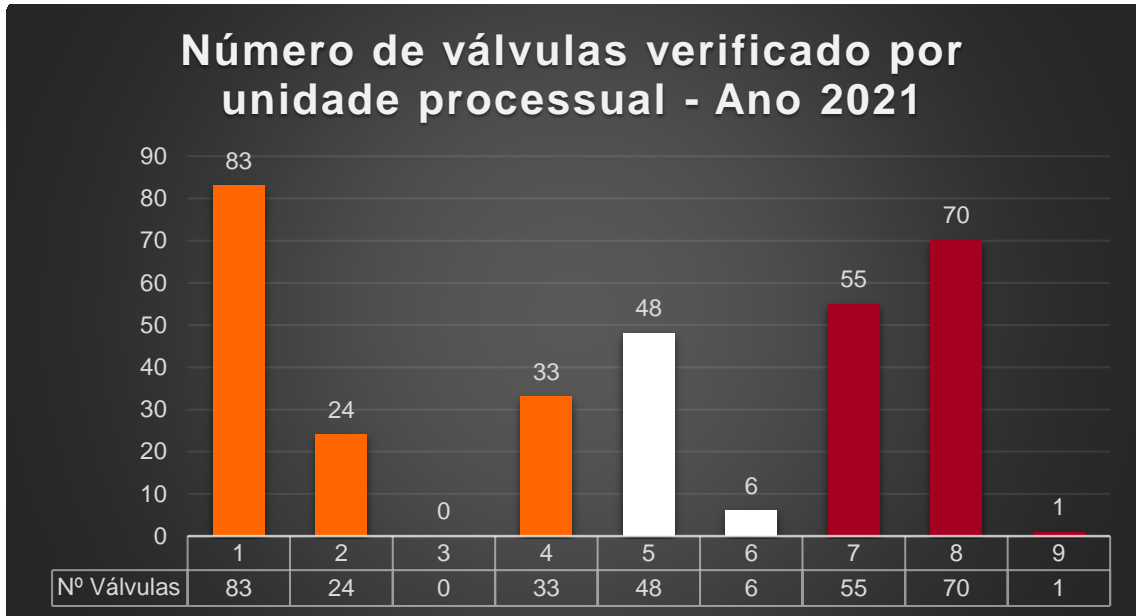


Figura 32 – Ensaios efetuados por unidade processual no ano de 2021

A Tabela 6 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
27/10/2021	PSV0729	Vinil A.	1,20	1,40	16,67	1,40	16,67	>10 <30
15/07/2021	PSV2478	Vapor	41,20	50,00	21,36	49,00	18,93	>10 <30
15/07/2021	PSV2538	Água	6,60	-	-	-	-	Colada
22/03/2021	PSV1632	Fluído Térmico	2,16	2,60	20,37	2,60	20,37	>10 <30
10/11/2021	PSV2045	Hexano	14,70	17,00	15,65	16,80	14,29	>10 <30
06/11/2021	PSV7030	Vapor	50,00	57,00	14,00	56,00	12,00	>10 <30
30/09/2021	PSV2711	NaOH	8,00	9,40	17,50	9,00	12,50	>10 <30

Tabela 6 – Desvios identificados no ano de 2021

4.7.1. Análise de desvios identificados no ano de 2021

No decorrer do ano de 2021 foram realizados 320 ensaios de bancada sendo identificados 7 desvios em relação ao valor de abertura.

Uma das válvulas verificada não abriu no ensaio de bancada.

Dos 7 desvios verificados e relacionando com o fluido de funcionamento, identifica-se que 2 válvulas apresentam serviço de vapor de água.

Na figura 33 apresenta-se o registo fotográfico dos componentes internos da PSV2538, que se apresentam cobertos por depósitos.



Figura 33 – Componentes internos da PSV2538 (fonte própria em contexto laboral).

4.8. Válvulas verificadas e desvios registados em 2022

O gráfico da figura 34 apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2022.

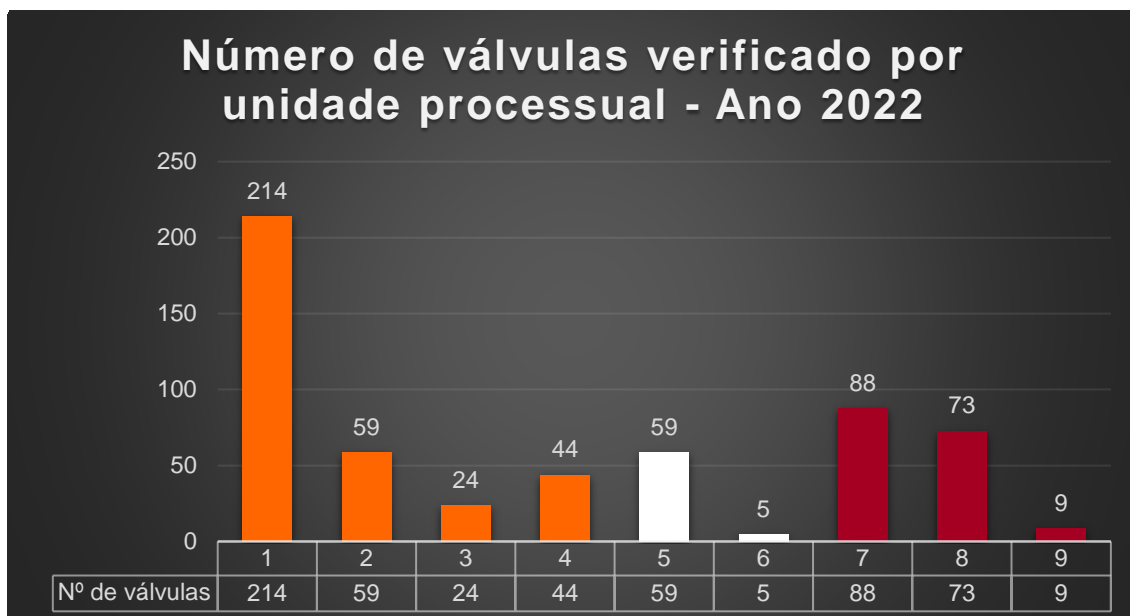


Figura 34 – Ensaios efetuados por unidade processual no ano de 2022

A Tabela 7 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
04/02/2022	PSV0506	Buteno	18,30	23,00	25,68	23,00	25,68	>10 <30
26/11/2022	PSV4206B	Vapor	0,74	0,88	18,92	0,88	18,92	>10 <30
15/03/2022	PSV3012	Água	5,17	-	-	-	-	Colada
17/03/2022	PSV5501	Água	6,86	-	-	-	-	Colada
26/07/2022	PSV7005	Polímero	11,76	14,80	25,85	14,00	19,04	>10 <30

Tabela 7 – Desvios identificados no ano de 2022

4.8.1. Análise de desvios identificados no ano de 2022

No decorrer do ano de 2022 foram realizados 575 ensaios de bancada sendo identificados 5 desvios em relação ao valor de abertura.

Salienta-se o facto de não ter ocorrido a abertura de 2 válvulas no ensaio de bancada.

Dos 5 desvios verificados e relacionando com o fluido de funcionamento, identifica-se que 2 válvulas apresentam serviço de água.

Na figura 35 apresenta-se exemplo da válvula PSV7005 que após ser testada em bancada e apresentar um desvio em relação ao valor de abertura, foi desmontada para beneficiação e ajuste, verificando-se que continha bastantes resíduos de polímeros no seu interior.



Figura 35 – Componentes internos da PSV7005 (fonte própria em contexto laboral).

4.9. Válvulas verificadas e desvios registados em 2023

O gráfico da figura 36 apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2023.

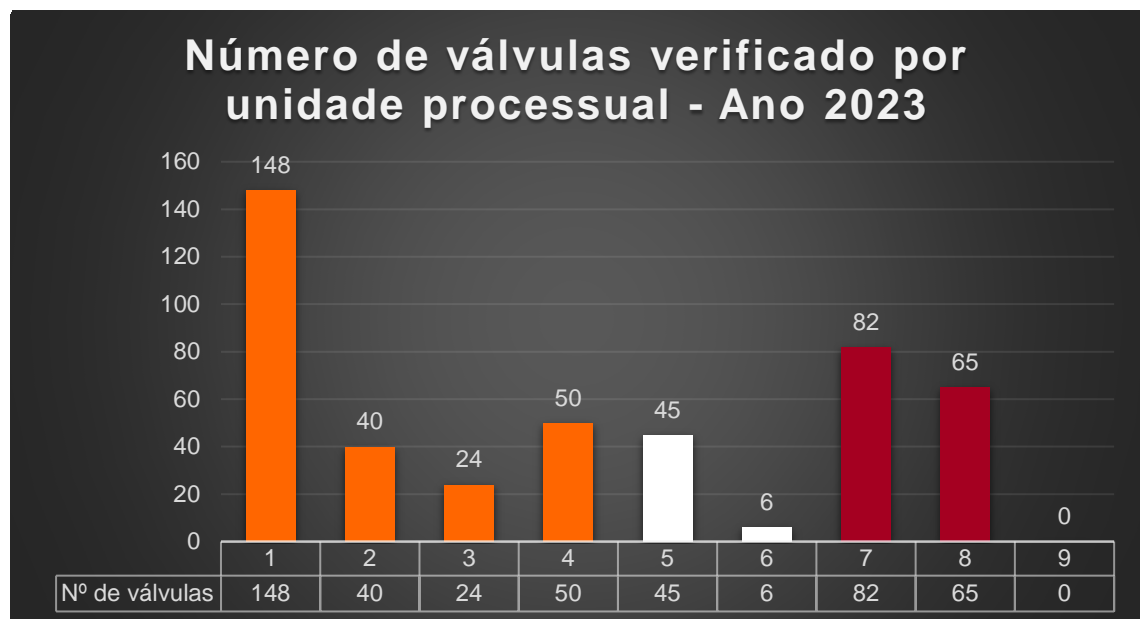


Figura 36 – Ensaios efetuados por unidade processual no ano de 2023

A Tabela 8 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
27/04/2023	PSV1538	Água	6,60	8,00	21,21	7,70	16,67	>10 <30
30/01/2023	PSV2468	Azoto	2,04	2,30	12,75	2,26	10,78	>10 <30
30/05/2023	PSV2010	Água	5,59	6,92	23,79	6,40	14,49	>10 <30
05/07/2023	PSV5604	Vapor	4,59	5,40	17,65	5,22	13,73	>10 <30
30/05/2023	PSV4305	Água	0,45	0,56	24,44	0,50	11,11	>10 <30
31/05/2023	PSV4306	Água	0,45	0,63	40,00	0,58	28,89	>10 <30

Tabela 8 – Desvios identificados no ano de 2023

4.9.1. Análise de desvios identificados no ano de 2023

No decorrer do ano de 2023 foram realizados 460 ensaios de bancada sendo identificados 6 desvios em relação ao valor de abertura.

Dos 6 desvios verificados e relacionando com o fluído de funcionamento, identifica-se que 4 válvulas apresentam serviço de água.

Na figura 37 é possível verificar o interior do corpo e os anéis de regulação de uma válvula em que o fluído de serviço é vapor, que se encontram com bastantes óxidos resultantes da acumulação de água no seu interior.



Figura 37 – Interior do corpo e anéis de regulação da PSV5604 (fonte própria em contexto laboral).

4.10. Válvulas verificadas e desvios registados em 2024

O gráfico da figura 38 apresenta o número de dispositivos de segurança verificados por unidade processual durante o ano de 2024.

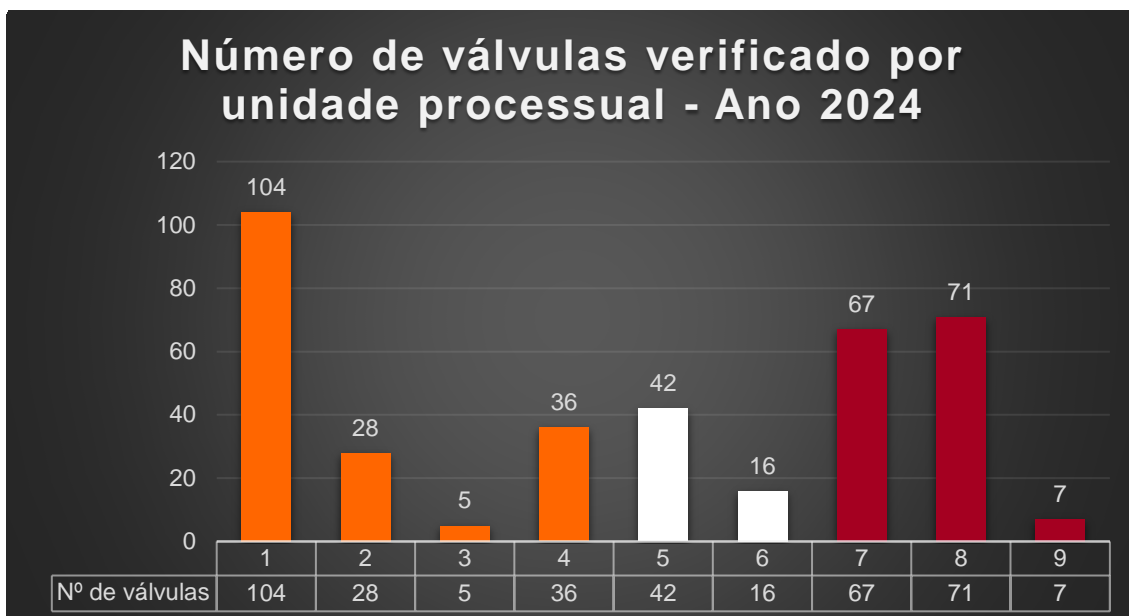


Figura 38 – Ensaios efetuados por unidade processual no ano de 2024

A Tabela 9 apresenta os desvios identificados durante a execução dos ensaios em bancada aos dispositivos de segurança e alívio de pressão.

Data	Item	Fluído	CDSP [barg]	1ºTeste [barg]	Desvio [%]	2ºTeste [barg]	Desvio [%]	Estado
05/06/2024	PSV0413	Água	10,00	11,40	14,00	11,30	13,00	>10 <30
14/02/2024	PSV1535	Água	6,60	-	-	-	-	Colada
05/02/2024	PSV3126	Água	8,00	-	-	-	-	Colada
03/04/2024	PSVS3315	Vapor	139,00	-	-	-	-	Colada

Tabela 9 – Desvios identificados no ano de 2024

4.10.1. Análise de desvios identificados no ano de 2024

No decorrer do ano de 2024 foram realizados 376 ensaios de bancada sendo identificados 4 desvios em relação ao valor de abertura.

Os desvios foram identificados em válvulas de segurança que têm como fluído de serviço água e vapor de água.

As válvulas com fluído de serviço água, apresentavam no interior depósitos, e no caso particular da PSV1535, corrosão na mola, pratos de mola e sede, como se verifica na figura 39.



Figura 39 – Componentes internos da PSV1535 (fonte própria em contexto laboral).

4.11. Dados estatísticos de resumo de intervenção

4.11.1. Total de ensaios realizados em bancada

O gráfico da figura 40 apresenta o total de válvulas de segurança testadas em bancada no período compreendido entre janeiro de 2017 e dezembro de 2024.



Figura 40 – Total de ensaios em bancada realizados de 2017 a 2024

4.11.2. Desvios identificados

O gráfico apresentado na figura 41 indica o total de desvios verificados no período decorrente entre janeiro de 2017 e dezembro de 2024, assim com a diferenciação entre desvios superiores a 30% e falhas na abertura no ensaio de bancada.

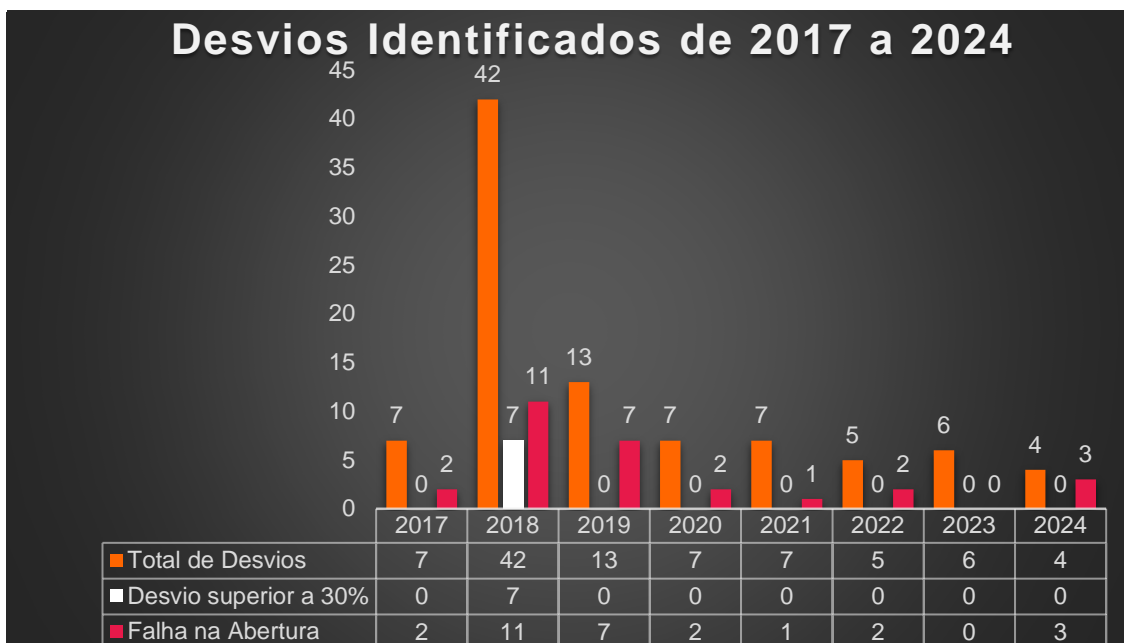


Figura 41 – Desvios verificados de 2017 a 2024

4.11.3. Percentagem de desvio em relação aos ensaios realizados

O gráfico da figura 42 apresenta a percentagem de desvios em relação ao total de ensaios realizados por ano no período compreendido entre janeiro de 2017 e dezembro de 2024.

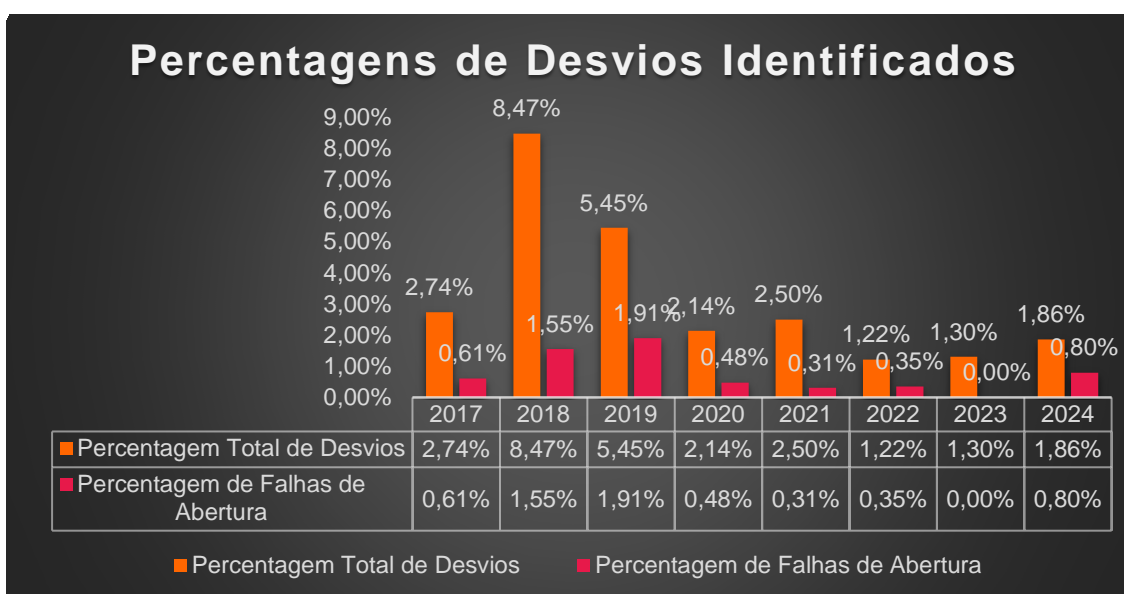


Figura 42 – Percentagem de desvios identificados

4.11.4. Desvios verificados por fluido de serviço

A tabela 10 apresenta a contagem dos desvios verificados por ano e a sua relação com o fluido de serviço.

FLUÍDO	ANO							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Água	4	14	6	2	1	2	4	3
Ar	0	1	0	1	0	0	0	0
Azoto	0	1	1	0	0	0	1	0
Brine	0	2	0	0	0	0	0	0
Butadieno	1	1	0	0	0	0	0	0
Buteno	0	0	0	0	0	1	0	0
C ₂	0	0	1	0	0	0	0	0
C ₄	0	4	0	0	0	0	0	0
DMF	0	3	0	0	0	0	0	0
Etileno	0	0	2	0	0	0	0	0
Fluido Térmico	0	0	1	0	1	0	0	0
Fuel Óleo	0	1	0	1	0	0	0	0
Gás Natural	0	1	0	0	0	0	0	0
Gasolina	0	2	1	0	0	0	0	0
Hexano	0	0	0	0	1	0	0	0
Hidrocarbonetos	0	1	1	0	0	0	0	0
Hidrogénio	0	1	0	0	0	0	0	0
Inibidor de Polímero	0	1	0	0	0	0	0	0
Mother Liquor	1	1	0	0	0	0	0	0
Nafta	0	2	0	1	0	0	0	0
NaOH	0	0	0	1	1	0	0	0
Polieletrólito	0	0	0	1	0	0	0	0
Polímero	0	0	0	0	0	1	0	0
Propileno	1	4	0	0	0	0	0	0
Vapor	0	2	0	0	2	1	1	1
Vinil Acetilénico	0	0	0	0	1	0	0	0

Tabela 10 – Desvios verificados por fluido de serviço

Na figura 43 pode-se verificar a informação apresentada anteriormente na sua representação gráfica.

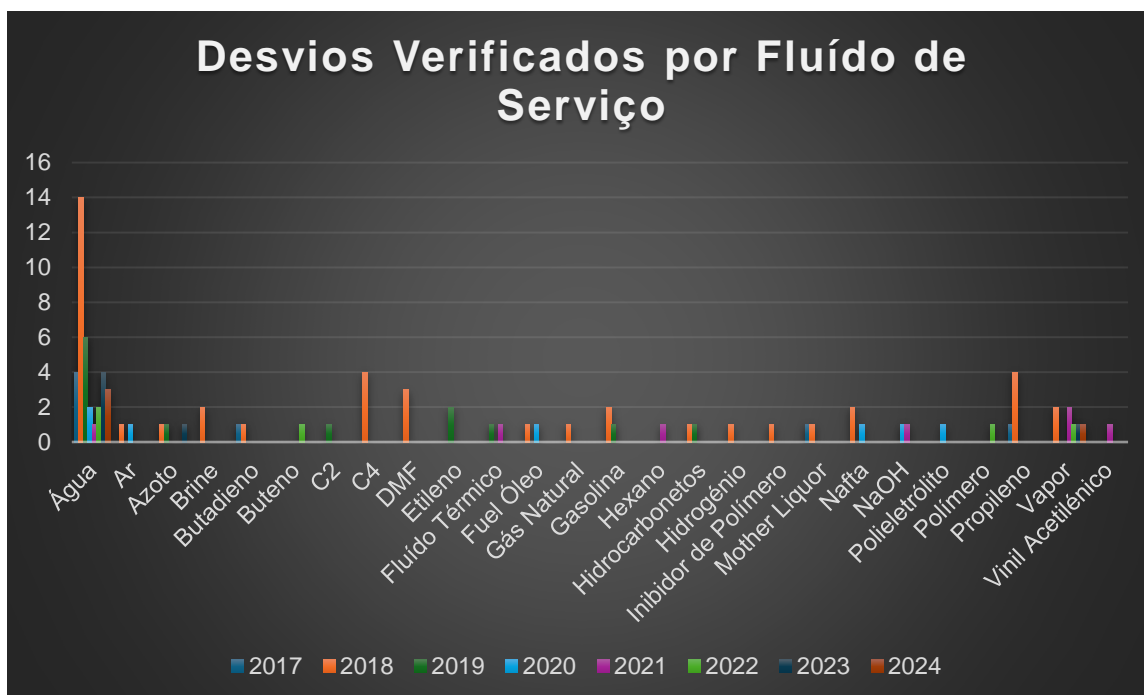


Figura 43 – Desvios verificados por fluido de serviço

4.12. Análise global e comentários ao tema da verificação e ensaios a dispositivos de segurança e alívio de pressão.

O tema da verificação e ensaios em bancada em dispositivos de segurança e alívio de pressão tem sido acompanhado ao longo dos tempos por parte do departamento de Inspeção da RP.Lda, atualmente designado por Fiabilidade Estática.

Durante o período laboral compreendido entre maio de 2011 e dezembro de 2024, foi assumida a responsabilidade pela recolha e tratamento de dados relativos a ensaios em bancada de válvulas de segurança e alívio de pressão, no desempenho de tarefas ao serviço do departamento de Inspeção/Fiabilidade Estática.

Esta atividade inclui a verificação dos parâmetros operacionais e de desempenho dos dispositivos, assim como a conformidade com as especificações técnicas, normas aplicáveis e práticas recomendáveis adotadas pela indústria, assim como a elaboração de relatórios técnicos com base nos resultados obtidos.

Ao longo deste período ocorreram alterações significativas no processo de análise e tratamento de dados. Inicialmente o processo era suportado por documentação em papel, não existindo uma base de dados única e de acesso expedito em caso de necessidade. Com a

adoção de softwares específicos para o efeito foi possível concentrar a informação, o que permite, por exemplo, ter de forma precisa e eficiente o histórico de intervenções para cada dispositivo analisado.

Paralelamente a esta evolução no que diz respeito ao armazenamento de dados, os critérios de avaliação foram sendo cada vez mais fundamentados em códigos e práticas recomendáveis emitidos pelo API, sendo, na situação particular dos critérios de desvio em relação ao valor de abertura em bancada superior a 10%, ainda mais conservativos do que o que é referido nestes códigos, assegurando o alinhamento com as melhores práticas do setor.

Com base nos resultados obtidos foram também implementadas medidas para melhorar o desempenho e minimizar as falhas de abertura dos dispositivos de segurança e alívio de pressão, adequando os intervalos de manutenção ao fluido de serviço e às características do local de instalação. De uma forma geral, estabelecer um intervalo base de 4 anos entre intervenções, assim como reduzir para metade o intervalo adotado caso se verifique um desvio, contribuiu significativamente para melhorar os resultados verificados nos anos anteriores ao período analisado neste trabalho (2009 a 2016).

A experiência acumulada ao longo dos anos contribuiu significativamente para aprofundar os conhecimentos sobre o tema, permitindo desenvolver competências práticas para a interpretação de resultados. Esta atividade tem um papel relevante na consolidação da base técnica que sustenta este trabalho académico.

Capítulo 5

Conclusões e trabalho futuro

O capítulo 5 apresenta as conclusões da análise aos desvios em válvulas de segurança e alívio de pressão nos últimos 15 anos, com destaque para 2017-2024. Sintetizam-se os principais resultados, incluindo fluídos com maior incidência de desvios, causas técnicas e evolução dos processos de ensaio e manutenção. Salienta-se a importância dos ensaios de bancada para a fiabilidade operacional e para o apoio à decisão, bem como o contributo deste estudo para o aperfeiçoamento dos critérios de avaliação e o alinhamento com normas internacionais. Por fim, propõem-se linhas de trabalho futuro, como a criação de uma base de dados nacional e o reforço da cooperação entre indústria, organismos de inspeção e enquadramento legal, visando otimizar a gestão e certificação destes dispositivos de segurança.

5.1. Conclusão

A presente pesquisa teve como objetivo principal identificar os motivos de desvio observados ao longo do tempo na empresa RP.Lda, em válvulas de segurança e alívio de pressão, com base na análise do histórico de ensaios em bancada realizados nos últimos 15 anos, dando especial atenção ao período compreendido entre janeiro de 2017 e dezembro de 2024. Para isso, foram abordados diversos aspetos técnicos e normativos relacionados com esses dispositivos, desde a descrição segundo códigos internacionais até à análise detalhada dos resultados obtidos em ensaios. A investigação permitiu não apenas compreender as causas mais recorrentes de falhas ou desvios, mas também refletir sobre a importância dos ensaios como ferramenta de prevenção e melhoria contínua no desempenho dos sistemas de segurança industrial.

Entre 2009 e 2016, os dados disponíveis eram mais limitados, refletindo uma fase de maturação dos processos de inspeção e manutenção. Embora os registos existentes permitam uma visão global do desempenho dos dispositivos não permitem uma análise tão detalhada quanto a realizada para o período de 2017 a 2024. Esta evolução metodológica marca uma mudança significativa na abordagem à fiabilidade operacional.

A análise dos desvios observados ao longo do período de 2017 a 2024 evidenciou que o fluido água apresentou o maior número de ocorrências, com um total de 36 desvios, destacando-se especialmente nos anos de 2017 e 2018. Este dado vem ao encontro do que tem sido experienciado ao longo dos anos, sendo recorrente a ocorrência de desvios em válvulas com este fluido de serviço pois a sua característica física, pode revelar com mais facilidade falhas de vedação ou calibração em comparação com gases ou hidrocarbonetos.

Além do número expressivo de desvios associados ao fluido água, é importante considerar fatores operacionais e de processo que podem explicar tal recorrência. No contexto da RP.Lda, a água é amplamente utilizada em sistemas de refrigeração, os quais operam de forma contínua e estão sujeitos a variações térmicas, pressões cíclicas e acumulação de impurezas. Esses fatores podem ter um impacto direto no desempenho das válvulas de segurança e alívio instaladas nesses circuitos.

Uma das causas mais prováveis para os desvios detetados em válvulas que operam com água está relacionada com a formação de depósitos minerais e incrustações nas tubagens, particularmente em zonas de baixa circulação, ou, onde há variações significativas de temperatura. Esses depósitos, geralmente compostos por carbonatos, óxidos metálicos ou outros sólidos suspensos, podem interferir no funcionamento adequado das válvulas, dificultando a vedação completa no fecho, ou alterando os valores de calibração.

Adicionalmente, a presença de corrosão interna, frequentemente associada à qualidade da água e à manutenção dos sistemas de refrigeração, pode resultar em partículas metálicas que se acumulam nas sedes das válvulas, agravando os desvios durante os ensaios. Tais condições operacionais reforçam a necessidade de monitorização constante da qualidade da água utilizada,

bem como de práticas eficazes de limpeza física ou química dos circuitos.

Neste enquadramento verifica-se que os desvios observados em válvulas de segurança que operam com água não devem ser analisados isoladamente, mas sim dentro do contexto mais amplo de condições do sistema de refrigeração, integridade das tubagens e histórico de manutenção. A compreensão dessas inter-relações é fundamental para mitigar falhas recorrentes e promover uma gestão mais eficiente da confiabilidade dos equipamentos de proteção.

Outro dos fluídos com registo significativo de desvios é o vapor, com 7 registos ao longo do período de análise, assim como o propileno, com 5 casos concentrados nos anos de 2017 e 2018. Fluídos como DMF, C4, gasolina e ML também apresentaram registos pontuais relevantes para a avaliação dos desvios

A partir da análise efetuada, foi possível constatar que a maioria dos desvios está concentrada num número reduzido de fluídos, o que sugere a necessidade de revisão dos procedimentos de ensaio e manutenção preventiva, especialmente para aqueles em que os desvios foram mais frequentes (água e vapor). Além disso, a evolução ao longo dos anos mostra uma tendência de redução no número total de desvios, o que pode indicar uma melhoria nos processos de controle de qualidade e nos critérios de aceitação das válvulas.

Face ao apresentado considera-se que os ensaios de bancada demonstram ser uma ferramenta fiável e importante para a avaliação do estado de conservação e desempenho dos dispositivos de segurança. A análise efetuada permitiu identificar falhas reais de funcionamento, como válvulas coladas, mas também fundamentar decisões técnicas relativas à classificação de criticidade dos dispositivos assim como ajustar os intervalos de manutenção e adoção de medidas corretivas específicas, como por exemplo a substituição de componentes.

Considerando os objetivos definidos inicialmente para este trabalho, nomeadamente a descrição técnica dos dispositivos adequando o termos de normas internacionais ao contexto nacional, assim como análise aos desvios salienta-se que foram cumpridos, sendo possível produzir conhecimento aplicável e alinhado com as boas práticas da indústria.

Adicionalmente, os resultados obtidos destacam a importância da gestão baseada em dados históricos como ferramenta de suporte à decisão técnica. A manutenção de um registo fiável e sistemático das intervenções e ensaios permitirá à RP.Lda continuar a reforçar a fiabilidade operacional dos seus equipamentos, contribuindo para o aumento da segurança dos processos, a conformidade legal e a redução do risco de falhas catastróficas.

5.2. Trabalho futuro

Para trabalho futuro pretende-se que o tema desenvolvido e apresentado nesta dissertação académica seja tomado como referência para a criação de uma base de dados comum a nível nacional que permita a avaliação de resultados numa gama mais abrangente de fluídos e que permita a confirmação dos dados apresentados relativamente aos desvios identificados em

dispositivos de segurança e alívio de pressão analisados.

Para o efeito, é possível ter como parceiro de trabalho os organismos de inspeção, que durante os atos inspetivos para licenciamento de equipamentos sob pressão, têm igualmente a tarefa de verificar e certificar os órgãos e dispositivos de segurança. Dessa forma o ensaio em bancada prévio à ação de manutenção deveria ser registado numa plataforma comum, com a informação do fluido de serviço, da pressão de ensaio a frio e o valor de abertura verificado no pré-teste.

Tendo por base a informação recolhida nestas verificações assim como feito o respetivo tratamento estatístico, ficaria não só a indústria com um ponto de partida para a definição dos intervalos de tempo a adotar para as ações de manutenção, focando a atuação preventiva à falha, assim como o a nível de legislação aplicado pelo Estado Português um fundamento para definir e adequar as obrigatoriedades legais relativas à verificação de órgãos e dispositivos de segurança.

O decreto-lei nº131/2019, que regulamenta a instalação e funcionamento de recipientes sob pressão simples e de equipamentos sob pressão estabelece como obrigatória a verificação dos acessórios de segurança e controlo no ato inspetivo para equipamentos licenciados ao abrigo do respetivo decreto, ou, no caso particular dos conjuntos processuais de equipamentos sob pressão regulamentados pelo despacho nº11551/2007 e submetidos a planos de inspeção baseados no risco, como indicado no ponto 9.6 do respetivo despacho, pode fazer variar entre 1 a 6 anos a obrigatoriedade de verificação do dispositivo de segurança, de acordo com a classificação do equipamento, o que em casos particulares se demonstra extremamente conservativo (verificação anual) ou demasiado extenso (a cada 6 anos).

Tal como anteriormente referido esta base de dados nacional seria uma ferramenta útil para rever o decreto-lei nº131/2019 os despachos nº22332/2001, nº22333/2001, nº11551/2007, nº22260/2007, nº24261/621 e nº2957/2022, no que diz respeito à periodicidade de certificação dos dispositivos de segurança.

Bibliografia

- American Society of Mechanical Engineers (ASME). ASME PTC 25: *Pressure Relief devices*. New York: ASME, 2008.
- American Petroleum Institute (API). *API 510: Pressure Vessel Inspection Code, In-Service Inspection, Rating, Repair and Alteration*. 11th ed. Washington, D.C.: API, 2022.
- American Petroleum Institute (API). *API Recommend Practice 576: Inspection of Pressure-Relieving Devices*. 4th ed. Washington, D.C.: API, 2017.
- American Petroleum Institute (API). *API Recommend Practice 581: Risk Based Inspection Methodology*. 3rd ed. Washington, D.C.: API, 2016.
- American Petroleum Institute (API). *API Standard 520 Part I: Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices*. 10th ed. Washington, D.C.: API, 2020.
- Chen, L.; Wang, X. *Dynamic behavior and control of pilot-operated pressure relief valves*. *Journal of Process Control*, v. 89, p. 22–31, 2020.
- Curtis-Wright. *Series 2700 pressure relief valve catalog* (Catálogo técnico). Disponível em: https://www.cw-valvegroup.com/sites/default/files/Library/CW_2700Catalog_R9-11-7.pdf. Consulta em: 01 jul. 2025.
- Fusibleplugs.com. *Informações técnicas sobre fusíveis de segurança térmica*. Disponível em: <https://www.fusibleplugs.com>. Consulta em: 30 jun. 2025.
- Gross, R. E. *Reliability Testing of Pressure Relief Valves*. Paper no. PVP2004-2610. American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2004.
- Jeong, J. Y.; Lee, J.; Yeom, S.; et al. *A study on the grooving process of a cross-scored rupture disc*. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, v. 13, p. 219–227, 2012.
- Kim, J.; Park, S. *Effect of backpressure on performance and stability of pressure relief valves*. *Journal of Pressure Vessel Technology*, v. 139, n. 3, p. 031205, 2017.
- Sotoodeh, K. *The Design of Pressure Safety and Relief Valves for Overpressure Protection: Essential considerations*. Indian National Academy of Engineering, 2023.
- União Europeia. *Diretiva 2014/68/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de maio de 2014, relativa à harmonização das legislações dos Estados-Membros respeitantes à colocação no mercado de equipamentos sob pressão*. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 189, 27 de junho de 2014, p. 164–259.
- Valvesalesinc.com. *Informações técnicas sobre válvulas acionadas externamente*. Disponível em: <https://www.valvesalesinc.com/products/mogas-power-operated-relief-valve>. Consulta em: 30 jun. 2025.
- Zhang, H.; Chen, Y. *Safety analysis of pressure relief devices in industrial applications*. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 104, p. 229–238, 2016.