NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

PATRÍCIA ALEXANDRA CORDAS DUARTE DE DEUS

Licenciada em Ciências de Engenharia Química e Bioquímica

ESTUDO DA MELHORIA DO DESEMPENHO DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO DE EMBALAGENS DE GASES A ALTA PRESSÃO

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA E BIOQUÍMICA

Universidade NOVA de Lisboa
Dezembro, 2021

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

ESTUDO DA MELHORIA DO DESEMPENHO DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO DE EMBALAGENS DE GASES A ALTA PRESSÃO

PATRÍCIA ALEXANDRA CORDAS DUARTE DE DEUS

Licenciada em Ciências de Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Professor Mário Fernando José Eusébio
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology

Coorientador: Engenheiro Nuno Esteves
Responsável Testing Ibérico, Air Liquide

Júri:

Presidente: Professor Rui Manuel Freitas Oliveira
Professor Associado com Agregação, NOVA School of Science and Technology

Arguente: Paulo Manuel Rodrigues
R&A Market Offer Deployer, Air Liquide

Orientador: Professor Mário Fernando José Eusébio
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA E BIOQUÍMICA

Universidade NOVA de Lisboa
Dezembro, 2021

Estudo da melhoria do desempenho dos processos de manutenção de embalagens de gases a alta pressão

Copyright © Patrícia Alexandra Cordas Duarte de Deus, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.
A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Esta dissertação é dedicada a todos os que fizeram parte do meu percurso educacional e serviram de suporte para o seu sucesso.

Agradecimentos

Findo o desafio final do meu curso, é com um profundo sentido de agradecimento que enalteço quem de forma direta ou indireta teve influência no meu percurso.

Começo por agradecer à instituição que me acolheu ao longo de cinco intensivos anos e à qual me orgulho de pertencer, à *NOVA School of Science and Technology* – FCT NOVA e ao seu ensino de excelência, em particular, aos docentes, qualificados ao mais alto nível, com um especial agradecimento aos quais tive o prazer de me cruzar no decorrer do meu percurso académico.

Quero deixar um sincero agradecimento ao meu orientador, Professor Dr. Mário Eusébio, que para além de ceder a sua disponibilidade a aconselhar e fornecer as diretrizes para que este projeto fosse concebível, é uma pessoa com um caráter integro e idóneo, que se dedica ao ensino e à transmissão de conhecimento aos seus discentes. Muito obrigada!

Seguidamente, quero agradecer à empresa Air Liquide, por permitir a integração dos discentes no universo laboral e por, através de estágios, providenciar uma plataforma para a sua entrada na vida profissional. Obrigada pela oportunidade que me foi dada!

Ao meu coorientador, Eng.º Nuno Esteves, pela confiança depositada em mim e pela partilha de conhecimento durante estes meses. A sua experiência fez-me acreditar que a evolução dos processos é possível se acreditarmos que podemos fazer parte da mudança.

Ao Eng.º António, um *expert* distinto, com quem tive o prazer de me reunir diversas vezes, que se disponibilizou sempre para me ajudar, quaisquer que fossem as minhas dúvidas. Sempre demonstrou rigor, dedicação, responsabilidade e conhecimento em diversas áreas, muito obrigada!

À Drª Sofia Dionísio que me impulsionou a progredir com os meus estudos e é uma excelente profissional, sempre dedicada ao bem comum da empresa e ligada à evolução.

Devo um honesto agradecimento ao Eng.º Roberto, por ser um profissional tão dedicado. Obrigada pela tua postura, pelos teus ensinamentos e espírito crítico. A tua inteligência permitiu-me acreditar mais nas minhas capacidades e investir na minha aprendizagem.

A toda a equipa do CMD, um especial agradecimento a cada um de vós. Ao Luís, ao Sr. Carlos Mesquita, ao Bruno Moreira, ao Sandro, ao António José, ao Ruben, ao Bruno Marques, pela atenção e apoio cedidos e pelo vosso espírito de entreajuda e boa camaradagem. Obrigada!

Ao Diacu que me encorajou a progredir com a conceção das peças de melhoria de processos neste projeto. Obrigada pela ajuda!

À equipa de enchimento, Vasile, Justino e Sr. Agostinho, que me apoiaram nas etapas finais do meu estágio e partilharam alguns dos seus saberes. Muito obrigada aos três!

Não posso deixar de agradecer a quem me acompanhou nas viagens de e para o *site* e com os quais tive o deleite de partilhar boa disposição e ensinamentos para a vida. Devo um especial agradecimento ao Sr. Luís, ao Sr. Renato, ao Sr. Jorge, à Vanessa e ao Ricardo.

Ao Eng.º Diogo, quem me recebeu e apresentou o *site*, acompanhando-me e fomentando a minha vontade em melhorar a prova.

À Guillaume et Valérie qui m'ont donné plusieurs débats liés à mon thème de thèse et m'ont aidé à comprendre les phénomènes qui se produisaient dans le stockage des bouteilles de gaz.

Finalmente, a nível pessoal e com todo o meu coração, quero agradecer a quem fez parte do *backstage*, apoiando-me sempre, qualquer que fosse o contexto.

Ao meu avô (*in memoriam*), quem me ajudou a ultrapassar os momentos com pensamentos derrotistas e de renúncia e a construir a minha resiliência.

Muito obrigada à minha linda família, pelo apoio e compreensão demonstrados. Obrigada, manas, por acreditarem em mim e por serem o meu maior orgulho, sem vocês nada seria possível. Obrigada, mãe, por seres a mãe-guerreira que és e por me teres transmitido valores, com todo o teu carinho e dedicação. Obrigada, avó 'Té', por sempre me aconselhares e encorajares a dar o meu melhor. Obrigada, Luís, pela tua orientação, amor e carinho. Obrigada, pai, por me ouvires e te orgulhares sempre de mim, dando-me força. Obrigada, avós por serem tão bons comigo e compreensivos quanto à minha dedicação.

Ao meu namorado, que me deu a força necessária para progredir na minha aprendizagem. Obrigada, amor! Que partilhemos sempre as montanhas e os vales da vida e continuemos unidos e fortes nas batalhas e a gabar os nossos sucessos.

Aos meus amigos, obrigada pelo vosso espírito de companheirismo e pela vossa saudável e robusta amizade! Um agradecimento muito especial a quem me acompanhou durante o meu percurso académico, crescendo e estando a meu lado, em todos os momentos, à amiga para a vida, Lore. Obrigada, por todas as sessões de debate, pelo teu apoio, pela tua amizade e por me colocares em equilíbrio.

"So you got to get comfortable being uncomfortable if you ever want to be successful." (Steve Harvey)

Resumo

O presente estudo tem por objetivo a melhoria dos processos de manutenção de embalagens de gases de alta pressão. Em concreto, pretende-se melhorar a humidade no interior das garrafas e o processo de pintura da parte superior das mesmas, denominada ogiva. Com o objetivo de identificar modos de falha e as suas potenciais causas, foram realizadas duas FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

Na FMEA relativa à humidade, identificaram-se 212 modos de falha, dos quais 6,6% foram considerados muito críticos. Para a FMEA referente à pintura da ogiva, identificaram-se 90 modos de falha, entre os quais se verificou a existência de 17,8% muito críticos. Para cada uma das análises de risco, foram considerados 4 níveis de RPN (*Risk Priority Number*) médios.

Em relação à humidade contida na garrafa, o maior número de causas para os modos de falha está relacionado com o processo de secagem. Para tal, foram reconhecidas as oportunidades de melhoria. A influência das condições atmosféricas na humidade é relevante e propõe–se uma revisão do sistema para embalagens de produtos que têm uma especificação de humidade abaixo dos 10 *ppm* e o isolamento destas após a secagem, com maior importância nos meses de inverno. Adicionalmente, foi melhorada a dinâmica de secagem, através da implementação de peças de impacto de jatos e do isolamento da tubagem de ar quente comprimido.

A pintura da ogiva está associada ao tipo de gás que a garrafa deve conter. Averiguou-se que o maior número causas para os modos de falha está relacionado com a pintura da ogiva. Após a identificação das oportunidades de melhoria, desenvolveu-se um projeto para nova peça de proteção da gola da garrafa, com a sua implementação e estudo da sua viabilidade. Esta medida resultou na redução muito significativa da dimensão e do número de partículas de impurezas, particularmente, de granalha, o que se traduz numa diminuição clara da probabilidade de haver contaminação no interior da garrafa, bem como na facilitação de processos de finalização a jusante. Para a melhoria da pintura da ogiva, com base na medição das temperaturas ótimas de aplicação e na análise do processo, foi proposta a alteração do local da pintura da ogiva, na cadeia aérea automática, de forma que esta fosse a última etapa ocorrida e identificou-se a necessidade de aumentar a altura da banda de proteção da ogiva na etapa da pintura do corpo da garrafa.

Palavras-chave: Secagem de garrafas, Pintura da ogiva, Embalagens de alta pressão, Manutenção, Gases industriais

Abstract

This study aims to improve maintenance processes for high-pressure packaged gases. Specifically, the purpose is to improve the cylinder's moisture content and the cylinder's upper part, known as the shoulder, painting process. To identify failure modes and their potential causes, two FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) were performed.

In the moisture FMEA, 212 failure modes were identified, of which 6.6% were considered very critical. For the FMEA referring to the shoulder painting, 90 failure modes were identified, among which 17.8% were found to be very critical. For each of the risk analyses, 4 levels of average RPN (Risk Priority Number) were considered.

In relation to the cylinder's moisture content, the greatest number of causes for failure modes are related to the drying process. To this end, opportunities for improvement were recognized. The influence of atmospheric conditions on moisture is relevant and it is proposed a review of the system for packaging products that have a moisture content specification below 10 ppm and their isolation after drying, with greater importance in winter months. Additionally, the drying dynamics were improved, through the implementation of jet impingement nozzles and the insulation of heated compressed air piping.

The shoulder painting is associated with the type of gas that the cylinder contains. It was found that the largest number of causes for failure modes are related to shoulder painting. After identifying opportunities for improvement, a project was developed for a new protective piece for the cylinder's collar, with its implementation and feasibility study. This measure resulted in a very significant reduction in the size and number of impurity particles, particularly from shot blasting, which translates into a clear reduction in the occurrence of contamination inside the bottle, as well as facilitating downstream finishing processes. For the improvement of the shoulder painting, based on the measurement of the optimal application temperatures and the process analysis, it was proposed to change the location of this painting process, in the automatic chain, so that this was the last step that occurred, and it was identified that there is a need to increase the height of the shoulder protection band in the cylinder's body painting step.

Keywords: Cylinder drying, Shoulder painting, High-pressure packaged gases, Maintenance, Industrial gases

Índice

Índice de Figuras **xiii**

Índice de Tabelas **xvii**

Siglas e Abreviaturas **xx**

Símbolos **xxiii**

1 Enquadramento **1**
1.1 Motivação 4
1.2 Objetivos 6

2 Introdução **7**
2.1 Indústria dos Gases 7
2.1.1 Air Liquide 7
2.1.2 Definição e Classificação dos Gases 12
2.1.3 *Supply Chain*: Cadeia de Abastecimento 16
2.1.4 Fabrico de Garrafas de Gás Comprimido 18
2.1.5 Componentes e Indentificação de uma Garrafa de Gás a Alta Pressão 19
2.1.6 Enchimento de Garrafas de Gás Comprimido 31
2.1.7 Manutenção de Garrafas de Gás Comprimido 32
2.2 Air Liquide Iberia (ALI) e representação do site CMD 39
2.3 Processo de Secagem 46
2.3.1 Humidade e conceitos básicos 47
2.3.2 Mecanismos de secagem 49
2.3.3 Regimes do fluxo de um fluido 61
2.3.4 Adsorção e Desadsorção 63
2.3.5 Contaminantes 70
2.3.6 Corrosão 70
2.3.7 Métodos para detetar e evitar contaminantes e corrosão 73
2.4 Processo de Pintura 77
2.4.1 Degradação da pintura 77
2.4.2 Exposição da superfície de aplicação a sais solúveis 77
2.4.3 Condições de aplicação 79

2.4.4 Tratamento de superfície 80
2.4.5 Tipos de tinta 80
2.5 Gestão de Risco 82
2.5.1 Normas em vigor e visão geral 82
2.5.2 Apreciação do Risco e Técnicas Desenvolvidas 84

3 Materiais e Métodos **90**
3.1 Tratamento de Amostras 90
3.2 Estudo do impacto das condições atmosféricas na humidade contida na garrafa 92
3.3 Estudo do impacto da pressão na humidade do gás de saída 95
3.4 Estudo à qualidade da pintura da ogiva 98
3.5 Elaboração das tabelas FMEA 100

4 Apresentação e Discussão de Resultados **102**
4.1 Catálogo Ibérico 102
4.1.1 Catálogo Ibérico Etiquetas Banana 102
4.1.2 Catálogo Ibérico Tipo de Válvulas 103
4.2 Gestão de Risco: Especificação de Humidade de uma Garrafa 104
4.2.1 Caso de Estudo e Construção da Análise de Risco 104
4.2.2 Etapas do Circuito com maior Influência na Humidade e Oportunidades de Melhoria 106
4.2.3 Identificação dos modos de falha mais críticos 108
4.2.4 Estudo dos modos de falha e suas potenciais causas 116
4.2.5 Medidas de Mitigação Propostas 130
4.2.6 Nova Avaliação do Risco 148
4.3 Gestão de Risco: Pintura da Ogiva de uma Garrafa 156
4.3.1 Caso de Estudo e Construção da Análise de Risco 156
4.3.2 Etapas do Circuito com maior Influência na Pintura da Ogiva e Oportunidades de Melhoria 158
4.3.3 Identificação dos modos de falha mais críticos 159
4.3.4 Estudo dos modos de falha e suas potenciais causas 170
4.3.5 Medidas de Mitigação Propostas 184
4.3.6 Nova Avaliação do Risco 193
4.4 Cenário idealista: mais vantajoso e adaptado às potenciais falhas dos dois temas a melhorar no *site* CMD 205

5 Conclusões e Oportunidades de Melhoria Futura **209**
5.1 Propostas de Melhoria Futura 211

Bibliografia **213**

Apêndices

A Apêndice 1 *Layout* e respetivo fluxograma do circuito de manutenção do *site* CMD 219

B Apêndice 2 FMEAs e avaliações de risco 222

C Apêndice 3 Tabelas de classificação 275

D Apêndice 4 Projeto da ponteira secagem 279

E Apêndice 5 Ações de mitigação, contribuição para o risco e custo estimado 284

Anexos

I Anexo 1 Cartas Psicrométricas 314

II Anexo 2 Formulário para o estudo do impacto da pressão na humidade 317

III Anexo 3 Controlo da humidade, inspeção e isolamento da garrafa, opções de mercado 319

IV Anexo 4 Boletim técnico da tinta aquosa aplicada no processo de pintura da ogiva das garrafas de gás 331

Índice de Figuras

1.1 Unidade de Separação do Ar e Constituição do Ar Atmosférico. 2

2.1 Áreas de negócio da Air Liquide no grupo *Gas & Services*. 10
2.2 Setores pertencentes à área de negócio *Industrial Merchant*. 10
2.3 Repartição das Áreas de Negócio AL nas diferentes regiões, em 2020 (adaptada de [11]). 11
2.4 Perigosidade dos gases [15]. 13
2.5 Cadeia de Abastecimento, com recorrência ao *software Microsoft Visio* (adaptada de [3]). 17
2.6 Embalagens de Alta Pressão (adaptada de [20]). 20
2.7 Marcações por gravação na ogiva de uma garrafa de gás comprimido (adaptada de [22], [23]). 22
2.8 Exemplos de capacetes de garrafas de gás comprimido (adaptada de [33]). . 29
2.9 Exemplo de etiqueta banana (digitalização de etiqueta da Air Liquide). . . 30
2.10 Exemplos de etiquetas de corpo: à esquerda: etiqueta de gás perigoso; à direita: etiqueta aplicada aos quadros de garrafas (digitalização de etiqueta da Air Liquide). 30
2.11 Perigosidade dos produtos tratados no *site* CMD. 40
2.12 Transações Logísticas no subgrupo ALI. 41
2.13 Transações de SC e SV entre centros AL. 42
2.14 Diagrama de fases da água (diagrama disponível em [6]). 47
2.15 Curvas caraterísticas de secagem e relação entre a velocidade de secagem e a humidade de um material (adaptada de[43]). 56
2.16 Curvas de adsorção/dessorção (adaptada de[37]). 61
2.17 Isotérmicas de adsorção de Freundlish (adaptada de [51]). 66
2.18 Relação entre a humidade contida e a pressão da embalagem [18]. 67
2.19 Comportamento dos fenómenos de fisissorção e quimissorção de acordo com a temperatura (adaptada de [51]). 68
2.20 Ciclos de corrosão do elemento Fe (adaptada de [58]). 79
2.21 Riscos Percetíveis (adaptada de [61]). 82
2.22 Princípios, Estrutura e Processo – Gestão do Risco eficiente, efetiva e consistente (adaptada de [62] e [63]). 83
2.23 Parâmetros de avaliação do risco na técnica FMEA. 86
2.24 Equilíbrio temporal, monetário e qualitativo. 87
2.25 Exemplo FMEA (adaptada de [61]). 89

3.1 Metodologias de tratamento de amostras (adaptada de [64], [66] e [67]). . . 91
3.2 Cálculos necessários para a determinação de humidade condensada. 94
3.3 Rampa de análises presente perto da zona de enchimento. 96
3.4 Higrómetro presente no laboratório de análises que pertence ao sistema de medição da humidade dos gases. 97
3.5 Rotâmetro que compõe o sistema de medição da humidade dos gases. . . . 97
3.6 Termómetro Fluke 65 Infrared Thermometer (figura retirada de https://sasauction.hibid.com/lot/78927675/fluke-65-infrared-thermometer---works/?q=&ref=catalog.) 99
3.7 Equivalência entre escala qualitativa e escala quantitativa criada para o estudo do custo associado à implementação das medidas de mitigação. 101

4.1 Gráfico síntese da FMEA efetuada à humidade contida numa garrafa de gás tratada no CMD. 107
4.2 Esquema de inserção dos casos mais críticos. 109
4.3 Criticidade *versus* RPN para a FMEA da humidade contida da garrafa de gás. 109
4.4 Estudo aos ppm de humidade que estão no ar contido no interior de uma garrafa B50 exposta (ano de 2018). 118
4.5 Estudo aos ppm de humidade que estão no ar contido no interior de uma garrafa B50 exposta (ano de 2019). 119
4.6 Estudo aos ppm de humidade que estão no ar contido no interior de uma garrafa B50 exposta (ano de 2020). 119
4.7 Aproximação da curva de saturação presente na carta psicrométrica a uma polinomial de 4ºgrau, para o intervalo de temperaturas (0-50)ºC. 120
4.8 Estudo aos ppm de água que estão contidos no interior da garrafa exposta *versus* os ppm permitidos pelas especificações dos produtos AL (ano de 2018). 121
4.9 Estudo aos ppm de água que estão contidos no interior da garrafa exposta *versus* os ppm permitidos pelas especificações dos produtos AL (ano de 2019). 122
4.10 Estudo aos ppm de água que estão contidos no interior da garrafa exposta *versus* os ppm permitidos pelas especificações dos produtos AL (ano de 2020). 122
4.11 Estudo à humidade contida no interior das garrafas de gás que completaram o circuito de requalificação, em função da sua temperatura exterior e quando as mesmas se encontram a uma pressão de 200 *bar*. 129
4.12 Estudo à humidade contida no interior das garrafas de gás que completaram o circuito de requalificação, em função da sua temperatura exterior e quando as mesmas se encontram a uma pressão equivalente ou inferior a 30 *bar*. . . 129
4.13 Processo de Secagem do CMD. 133
4.14 Parte superior do disco de peso de uma vareta pertencente ao processo de secagem. 134
4.15 Desenho de uma vareta pertencente aos processo de secagem (com recorrência ao *software Paint 3D*. 135

4.16 Secagem de garrafas pequenas no CMD. 136
4.17 Exemplo de processo de secagem não conforme de acordo com os *standards* de exigência na inspeção visual periódica. 137
4.18 Modelo da ponteira das varetas do processo de secagem (com recorrência ao *software Paint 3D*). 138
4.19 Exemplificação da zona mais funda da garrafa e local de acumulação de água líquida (zonas mortas). 138
4.20 Projeto para determinação das medidas da para conceção da ponteira das varetas do processo de secagem, com consideração do fluxo de ar quente comprimido. 138
4.21 Resultado final da ponteira concebida para as varetas do processo de secagem. 139
4.22 Exemplo de utilização de espelho dentário para a inspeção da ogiva (adaptada de[71]). 142
4.23 Equipamento com câmara de inspeção ou videoscópio demonstrado no *site* CMD (presente em [72]). 143
4.24 Custo estimado *versus* percentagem de contribuição para o risco global com os riscos muito críticos para a humidade assinalados. 155
4.25 Gráfico síntese da FMEA efetuada à pintura da ogiva de uma garrafa de gás tratada no CMD. 158
4.26 Esquema de inserção dos casos mais críticos para a pintura da ogiva. 160
4.27 Criticidade *versus* RPN para a FMEA da ogiva da garrafa de gás. 161
4.28 Exemplo do desgaste da tinta em pó *versus* desgaste da tinta aquosa. 172
4.29 Aspeto da pintura da ogiva quando a mesma está conforme. 176
4.30 Aspeto da pintura da ogiva quando a a mesma está não conforme (suporte com temperatura elevada). 176
4.31 Aspeto da pintura da ogiva quando a a mesma está não conforme (suporte com temperatura baixa). 176
4.32 Exemplo do aspeto visual de duas garrafas (à esquerda uma garrafa conforme; à direita uma garrafa não conforme). 177
4.33 Estado de deterioração de uma das atuais peças de proteção da gola da garrafa no CMD (vista inferior). 180
4.34 Estado de deterioração de uma das atuais peças de proteção da gola da garrafa no CMD (vista lateral). 180
4.35 Local de acumulação de partículas de granalha, na gola com garrafa na CAA e com peça de proteção atual do CMD. 180
4.36 Local de acumulação de partículas de granalha na gola, com garrafa na CAA e sem peça de proteção atual do CMD. 181
4.37 Local de acumulação de partículas de granalha, depois de removido o perne de transporte na CAA. 181
4.38 Peça de prroteção da gola levantada por influência do ar ejetado pelos ventiladores, na zona de arrefecimento da ogiva no CMD. 182

4.39 Exemplos de pintura da gola de garrafas de gás no CMD. 182
4.40 Exemplo da visível queda de partículas de granalha na parte superior da ogiva. 183
4.41 Exemplo mais aproximado da queda de partículas de granalha na ogiva. . . 184
4.42 Modelo da peça de proteção da gola das garrafas de gás que sejam preparadas na CAA (com recorrência ao *software Paint 3D)*. 185
4.43 Primeiro modelo de peça de proteção da gola, com implementação na CAA. 186
4.44 Vista superior da peça de proteção da gola da garrafa usada na CAA. 186
4.45 Vista inferior da peça de proteção da gola da garrafa após a segunda volta no circuito da CAA. 186
4.46 Segundo modelo e resultado final da peça de proteção da gola, com implementação na CAA. 187
4.47 Marcação visível dos *O-ring* incluídos na nova peça de proteção da gola e efetiva proteção contra partículas de granalha. 187
4.48 Resultado da primeira volta no circuito da CAA para garrafas de com esta tipologia de gola. 188
4.49 Resultado da segunda volta no circuito da CAA para garrafas de com esta tipologia de gola. 188
4.50 Exemplos de câmaras termográficas da marca FLIR (disponível em [73]). . 189
4.51 Exemplo de aplicação da machine vision no embalamento de garrafas (disponível em [73]). 189
4.52 Custo estimado *versus* percentagem de contribuição para o risco global com os riscos muito críticos para a pintura da ogiva assinalados. 204

Índice de Tabelas

2.1 Vendas Air Liquide nos grupos de atividade para os anos 2018, 2019 e 2020. 9
2.2 Classificação dos gases pertencentes à Classe 2 no ADR [15]. 12
2.3 Possibilidades de fornecimentos dos gases industriais comuns(adaptada de [3]). 16
2.4 Sistema de codificação por cores, de acordo com a perigosidade primária do gás [24] com recorrência ao *software Paint 3D* e ao *website* `https://rgb.to/ral`. 23
2.5 Sistema de codificação por cores para os gases induviduais [24] com recorrência ao *software Paint 3D* e ao *website* `https://rgb.to/ral`. 24
2.6 Qualidade de gás exigida de um numa embalagem de alta pressão com RPV-NRV (adaptada de [28]). 27
2.7 Periodicidade de ensaios a embalagens de alta pressão, de acordo com o gás ou mistura de gases (Parte 1/3) (adaptada de [15]). 33
2.8 Periodicidade de ensaios a embalagens de alta pressão, de acordo com o gás ou mistura de gases (Parte 2/3) (adaptada de [15]). 34
2.9 Periodicidade de ensaios a embalagens de alta pressão, de acordo com o gás ou mistura de gases (Parte 3/3) (adaptada de [15]). 35
2.10 Possibilidades de circuitos consoante o tipo de embalagem a ser preparada. 45
2.11 Processos industriais mais utilizados para a proteção de superfícies da corrosão (adaptada de [54]). 75
2.12 Critério de acordo com os níveis de parâmetro para a necessidade de criação de ação de mitigação dos potenciais modos de falha(adaptada de [61]). . . . 87

3.1 Medição de parâmetros do higrómetro (número da Amostra (A), valor da Medição (M), Valor Médio (VM), Desvio Absoluto (DA), Incerteza Absoluta (IA), Incerteza Relativa (IR), Erro Absoluto (EA), Erro relativo (ER), Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação(CV)). 98
3.2 Informação relativa ao Fluke 65 Infrared Thermometer (adaptada de `https://jmtest.com/pictures/272-Fluke-65-Data%20Sheet.pdf`). 99
3.3 Tabela de questões que serviu de *guideline* para a construção das FMEA. . . 100

4.1 Níveis para o parâmetro severidade (S) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 106
4.2 Níveis para o parâmetro ocorrência (O) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 106
4.3 Níveis para o parâmetro deteção (D) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 106
4.4 Limites e prazos de ação para os diferentes RPN (média) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 106

4.5 Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 1/5). 111
4.6 Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 2/5). 112
4.7 Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 3/5). 113
4.8 Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 4/5). 114
4.9 Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 5/5). 115
4.10 Síntese dos resultados obtidos para a condensação das paredes de uma garrafa exposta durante o dia que arrefece à noite, para os anos 2018, 2019 e 2020. 120
4.11 Escala de classificação de gases em relação à preparação das garrafas. . . . 123
4.12 Organização das garrafas da experiência no cesto. 127
4.13 Medições dos comprimentos das 12 varetas pertencentes ao processo de secagem. 135
4.14 Humidade apresentada pelos gases a alta e baixa pressão, de acordo com a pressão parcial correspondente(adaptada de documento interno IN-TI-FIL-002). 140
4.15 Proposta de controlo de humidade após a secagem de garrafas de gás, consoante o produto a servir. 141
4.16 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 1/5). 149
4.17 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 2/5). 150
4.18 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 3/5). 151
4.19 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 4/5). 152
4.20 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 5/5). 153
4.21 Matriz de risco antes de aplicar as medidas de mitigação para a humidade. 154
4.22 Matriz de risco prevista com a aplicação d medidas de mitigação para a humidade. 154
4.23 Níveis para o parâmetro severidade (S) para a pintura da ogiva (obtida por *brainstorming* com a equipa). 157
4.24 Níveis para o parâmetro ocorrência (O) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 158
4.25 Níveis para o parâmetro deteção (D) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 158
4.26 Limites e prazos de ação para os diferentes RPN (média) (obtida por *brainstorming* com a equipa). 159
4.27 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 1/8). 162
4.28 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 2/8). 163
4.29 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 3/8). 164

4.30 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 4/8). 165
4.31 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 5/8). 166
4.32 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 6/8). 167
4.33 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 7/8). 168
4.34 Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 8/8). 169
4.35 Registos de pintura não conforme (Parte 1/3). 173
4.36 Registos de pintura não conforme (Parte 2/3). 174
4.37 Registos de pintura não conforme (Parte 3/3). 175
4.38 Controlo de qualidade ao processo de pintura da ogiva, ocorrido no *site* CMD. 178
4.39 Estudo das temperaturas atingidas à superfície da ogiva da garrafa entre a saída do forno e o local do processo de pintura. 178
4.40 Métodos de decapagem de superfícies metálicas, de acordo como tipo de material de construção da garrafa de gás [56]. 191
4.41 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 1/9). 194
4.42 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 2/9). 195
4.43 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 3/9). 196
4.44 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 4/9). 197
4.45 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 5/9). 198
4.46 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 6/9). 199
4.47 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 7/9). 200
4.48 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 8/9). 201
4.49 Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 9/9). 202
4.50 Matriz de risco antes de aplicar as medidas de mitigação para a pintura da ogiva. 203
4.51 Matriz de risco prevista com a aplicação das medidas de mitigação para a pintura da ogiva. 203
4.52 *T-chart* do cenário mais vantajoso a nível de eficiência proposto. 206

Siglas e Abreviaturas

ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route, ou Accord Dangereux Routier, ou Regulamentação do Transporte de Mercadorias Perigosas por Estrada
AET	Acoustic Emission Testing, ou *testing* de emissão acústica
AISI	American Iron and Steel Institute
AL	Air Liquide
ALE	Air Liquide Espanha
ALI	Air Liquide Ibéria
ALM	Air Liquide Medicinal
ALP	Air Liquide Portugal
ASU	Air Separation Unit
BCGA	British Compressed Gases Association
BET	Modelo de adsorção proposto por Brunauer, Emmert e Teller
CAA	Cadeia Aérea Automática
CAGR	Compound Annual Growth Rate, ou Taxa Média Anual de Crescimento
CE	Marcação da Comissão Europeia para produtos conformes
CGA	Compressed Gas Association
CLP	Regulamento (CE) n.1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2008
CMD	Centro de Material de Distribuição de Arruda dos Vinhos
D	Deteção
E & P	Entrepeneurs & Professionals
EIGA	European Industrial Gases Association
EN	European Norms
EU ou UE	European Union ou União Europeia
F & P	Food & Pharma
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis, ou análise dos modos de falha e seus efeitos

GC-ECD	Gas Chromatography - Electron Capture Detector
H/P	Frases H e P
ID	Identificação
IM	Industrial Merchant
ISO	International Organization for Standardization
LGN	Liquefied Natural Gas
LI	Large Industries
M & P	Manufacturing & Process
O	Ocorência
PG	Packaged Gases
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
ppt	parts per trillion
PTFE	Politetrafluoretileno
R & A	Research & Analysis
RAL	RAL German Institute for Quality Assurance and Certification, ou RAL colour standard
RPD	Residual Pressure Devices, ou acessórios de pressão residual
RPN	Risk Priority Number, Número Prioritário do Risco
RPV-NRV	Residual Pressure Valve - Non Return Valve, ou válvula de pressão residual - válvula de não retorno
S	Severidade
SC	Stock "cheios"
SMR	Steam Methane Reformer
SPAL	Sociedade Portuguesa do Ar Líquido
SV	Stock "vazios"
SWE	South West Europe, ou Sudoeste da Europa
TPED	Transportable Pressure Equipment Directive(2010/35/EU), ou Diretiva n.2010/35 relativa aos Equipamentos sob Pressão Transportáveis
UN	Marcação das Nações Unidas para embalagens conformes, testadas e certificadas

UT Ultrasound Testing, ou *testing* de ultrassons
UV Ultravioleta

VOC Volatile Organic Compound

Símbolos

A	área
c	constante
C_p	calor específico do corpo
c_{pg}	calor específico do gás seco
c_{pv}	calor específico do vapor
C_s	calor húmido da mistura gás-vapor
D	difusividade térmica
ΔP	gradiente de pressão
$\frac{dQ}{d\theta}$	fluxo de calor
$\frac{dT}{dx}$	fluxo de temperatura de acordo com a posição
$\frac{dw}{d\theta}$	perda de humidade
$\frac{dW}{d\theta}$	taxa de secagem
e	efusividade térmica
$E_{A,des}$	energia de ativação de dessorção
ε	espessura
$\mathscr{H}$	humidade absoluta
h_c	coeficiente de transferência de calor por convecção
$\mathscr{H}_{rel}$	humidade relativa
$\mathscr{H}_s$	humidade de saturação
h_t	soma dos componentes de mecanismos de transferência de calor (convecção, condução e radiação)
k	coeficiente de transferência de massa
K	rácio entre constantes de adsorção e de dessorção
k_{-1}	constante de dessorção
k_1	constante de adsorção
κ	condutividade térmica
L_s	calor latente de vaporização

m	massa
M	massa molar
m_{ad}	massa de adsorvente
M_g	massa molecular do gás seco
M_v	massa molecular do vapor
n	número de moles
N	constante
p	pressão parcial
P	pressão total do sistema
p_s	pressão de vapor
P_s	pressão de saturação
q_{cond}	fluxo de calor por condução
q_{convec}	fluxo de calor por convecção
Q_{convec}	taxa de transferência de calor
r	raio
R	constante dos gases perfeitos
ρ	massa específica
s_p	tensão superficial
t	tempo
T	temperatura
Θ	fração de pontos de adsorção ocupados
Θ^n	termo de ordem de cobertura
T_∞	temperatura de um fluido convectivo
T_s	temperatura adiabática de saturação
T_{sup}	temperatura de superfície de um sólido
$v(\Theta)$	termo de frequência
V	volume
x	quantidade adsorvida

1

Enquadramento

Diversos acontecimentos permitiram o desenvolvimento da história dos gases, entre os quais, a revolução industrial, as duas Guerras Mundiais e, mais recentemente, a deslocalização industrial. É de extrema importância dar crédito aos diversos engenheiros, químicos, físicos e cientistas que dedicaram a sua vida a investigar, descobrir e criar os princípios fundamentais que constroem a ciência e a tecnologia, permitindo separar os gases presentes no ar e usar os mesmos nas mais diversas aplicações [1]. Todos os seus esforços, empenho, trabalho e colaborações deram origem a uma importante evolução dos produtos, serviços e processos que estão atualmente presentes no dia a dia e que revolucionaram as indústrias que servem de suporte à vida.

Estima-se que, em 2020, o mercado dos gases industriais tenha representado mais de 90 mil milhões de dólares americanos e projeções apontam para uma taxa média anual de crescimento de 6.0% no intervalo temporal de 2021 a 2028 [2]. Esta elevada taxa deve-se principalmente à aposta nas indústrias nos mercados não-maduros tais como Ásia-Pacífico e à constante investigação por métodos tecnologicamente mais avançados nas áreas da alimentação e saúde e posterior transição energética, desenvolvidas nos mercados maduros.

Intimamente relacionada com a industrialização ocorrida no século XIX, a produção a larga escala dos gases industriais potenciou a criação de novas aplicações e proporcionou processos mais rentáveis. Os gases industriais são definidos por "gases combustíveis ou não-combustíveis gerados à escala industrial, tais como hidrogénio, oxigénio, azoto, dióxido de carbono, acetileno, etileno, gases nobres, amónia, gás de água, gás gerador, gás de cidade, gás sintético, etc." [3].

Num mercado global em que a procura gera oferta, num mundo totalmente interconectado e com políticas empresariais direccionadas para o fornecimento de produtos e serviços que obedeçam à rentabilidade, à qualidade, à segurança e à sustentabilidade, os gases industriais com maior expressão são os gases do ar, nomeadamente: o azoto, o oxigénio, o dióxido de carbono, e os gases nobres, e outros gases industriais tais como o acetileno, o hidrogénio, o monóxido de carbono e o protóxido de azoto. Os gases especiais e as misturas de gases são igualmente mercados promissores que têm vindo a aumentar a sua procura nos últimos anos, principalmente na região ocidente.

Como base do nascimento da atividade, o final do século XIX, foi marcado pela necessidade de estudar as condições mais favoráveis de processar os gases presentes no ar atmosférico, liquefazê-los, separá-los e purificá-los em gases industriais a baixas temperaturas. A atual conhecida constituição do ar atmosférico inclui as seguintes moléculas,

aproximadamente, nas quantidades representadas na Figura 1.1 [1], [4], [5], [6]:

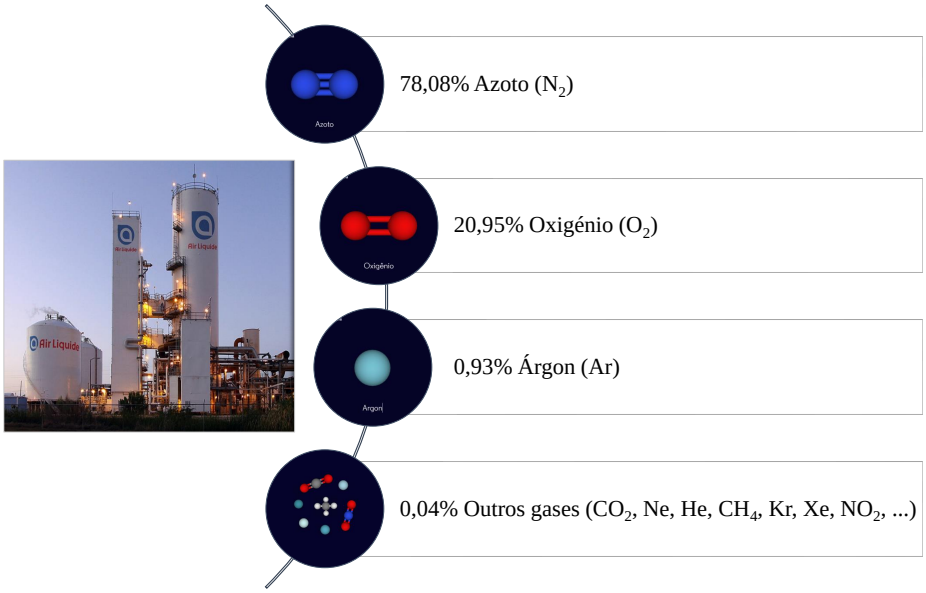


Figura 1.1: Unidade de Separação do Ar e Constituição do Ar Atmosférico.

As moléculas apresentadas podem ser obtidas de forma individual e no estado gasoso através do seu processamento em unidades de separação do ar (ASU [1]) (ver Figura 1.1). Em paralelo, os mecanismos naturais ou forçados de produção de moléculas de gases industriais foram igualmente evoluindo ao longo dos anos e atendendo às necessidades demonstradas pelas diversas indústrias. As unidades de produção de gases são construídas com esta finalidade tais como a *Steam Methane Reformer* (SMR) [5].

Fundadas e desenvolvidas pelos promotores do desenvolvimento da Indústria dos Gases, as empresas com maior quota de mercado no fornecimento de gases industriais são: a Air Liquide, The Linde Group, Linde plc (fusão da Praxair e Linde AG) e Air Products and Chemicals Inc.. O seu papel no mercado global é de extrema relevância para indústrias como: a manufatura, alimentar e farmacêuticas, da saúde, elétrica e eletrónica, entre outras. As empresas que reuniram mais de 60% das vendas totais de gases num contexto mundial, em 2020, são as duas primeiras [7].

Em particular, a Air Liquide, uma empresa multinacional fundada no ano de 1902 em França [8] , tem como principal intenção o conhecimento do mercado atual, da sua evolução e das suas futuras tendências ou necessidades, de forma a corresponder continuamente com satisfação às exigências de mercado e desenvolver os melhores produtos e serviços para esse efeito. Com representação em 78 países, tem cerca de 64 500 funcionários e aproximadamente 3,8 milhões de clientes. A Air Liquide fornece apoio a diversas

[1] Air Separation Unit

empresas, parceiros e a clientes finais, otimizando a sua estratégia, aliada à sustentabilidade e de acordo com elevados *standards* de exigência [5]. Em Portugal, surgiu como SPAL[2] em 1923, e foi uma das primeiras filiais do grupo a surgir e a comercializar gases industriais. Atualmente, a filial chama-se Sociedade Portuguesa do Ar Líquido, lda. e também é conhecida por Ar Líquido. [9].

A nível organizacional, a atividade da empresa centra-se no setor de *Gas & Services*, o qual representa cerca de 96% da receita total do grupo [10], [11] e divide-se em 4 áreas de negócio: *Industrial Merchant* (IM), *Large Industries* (LI), *Healthcare* e *Eletronics*. Por sua vez, a área IM pode ser subdividida em diversos setores de mercado: *Entrepeneurs & Professionals* (E & P), *Manufacturing & Process* (M & P), *Food & Pharma* (F & P) e *Research & Analysis* (R & A). A organização da Air Liquide é de tal ordem específica para os diversos mercados, que o grupo dispõe de um leque de produtos e serviços de diversas gamas de qualidades distintas, de acordo com o critério exigido pelos clientes.

A cadeia de fornecimento apresenta um papel fundamental para que os produtos cheguem aos clientes de forma segura e com tempo de resposta minimizado. Para tal, a Air Liquide orienta a sua atividade de acordo com uma política de cumprimento regulamentar e normativo nacional / internacional. A empresa comercializa diversos produtos em gases acondicionados apropriados às necessidades apresentadas, sejam estas de maiores ou menores volumes e de maiores ou menores especificidades. Qualquer que seja a atividade ou o setor de atividade onde se inserem os clientes, a empresa está disposta a oferecer o método de distribuição mais adequado para responder às necessidades dos clientes com maior rapidez e qualidade possíveis. O método de fornecimento de gases é determinado mediante quatro critérios fundamentais: caraterísticas do gás a ceder, acessibilidade a nível de localização e minimização do tempo de resposta, requisitos do próprio cliente e competitividade apresentada pelos concorrentes.

Consoante o resultado da conjuntura dos critérios anteriormente mencionados, é tomada uma decisão quanto ao modo de fornecimento do gás ou mistura de gases, existindo as seguintes opções:

1. *Packaged Gases* (PG) ou Gases Acondicionados;
2. *Bulk* (reservatório ou tanque criogénico acoplado por um vaporizador de atmosférico);
3. *On site production* ou produção "no local";
4. *Pipeline* ou gasoduto.

[2]Sociedade Portuguesa do Ar Líquido

1.1 Motivação

Para os diferentes mercados da área de negócio IM, as embalagens de gás comprimido ou de misturas de gases comprimidos são dos métodos com maior procura devido ao seu volume relativamente pequeno, quando comparado com outros métodos de fornecimento.

Assim, é pertinente que se efetue um estudo com vista à revisão e otimização dos processos de manutenção e requalificação das embalagens recarregáveis que transportam gases comprimidos.

Conhecidas no grupo Air Liquide como embalagens de gases acondicionados, consistem em todos os produtos comercializados pela empresa que se encontram na fase gasosa quando são comprimidos a alta pressão. Podem ainda ser denominadas por embalagens de alta pressão, uma vez que compreendem pressões de armazenamento superiores a 80 bar, quando se tratam de embalagens de gases comprimidos, e superiores a 20 bar, no que diz respeito a gases liquefeitos. Estas pressões englobam as garrafas e quadros de garrafas comercializados pela empresa.

Cumprindo com as normas e procedimentos obrigatórios, um dos maiores avanços na engenharia foi tornar as embalagens de gás a alta pressão em embalagens recarregáveis e permutáveis quanto ao gás de serviço. Deste modo, as quantidades do fornecimento, para além de menor volume e mais ergonómicas ao transporte e manuseamento, têm a particularidade de serem distribuídas por gamas que vão desde gases muito puros até misturas complexas de vários gases. Possuem ainda a vantagem de ser usadas continuamente por um período temporal alargado ao serviço, mediante um teste de avaliação das condições necessárias ao seu transporte e manuseamento, sendo a sua aprovação favorável à distribuição e comercialização de gases, sem que se comprometa a segurança das pessoas.

De entre os diversos centros presentes no grupo, com uma evidente importância num contexto ibérico, o Centro de Material de Distribuição de Arruda dos Vinhos (CMD) consiste no local onde se efetua a requalificação das garrafas de gás comprimido recarregáveis e onde, para tal, se submete as mesmas a uma prova de esforço denominada por teste de pressão hidráulica ou prova hidráulica e posterior inspeção. O teste de requalificação de garrafas de gás é, internacionalmente, designado por *testing* e garante a boa manutenção e longevidade das embalagens que transportam gases. A Air Liquide rege-se por normas internacionais, normas europeias e normas nacionais adaptando os seus procedimentos operacionais aos critérios delineados pelas mesmas. Definida pela Regulamentação do Transporte de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR [3]) e pela Norma ISO [4] 18119:2018, a inspeção periódica e o *testing* de garrafas de gás de aço e de liga de alumínio sem costura são procedimentos obrigatórios. Nestes, as embalagens de gás acondicionado efetuam uma prova de esforço para testar se estão aptas para continuar ao serviço e a circular com

[3] *Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route, ou Accord Dangereux Routier*

[4] *International Organization for Standardization*:organização não governamental internacional composta por organismos nacionais de normalização

gases comprimidos a alta pressão. *A posteriori*, estas são inspecionadas exterior e interiormente para identificar potenciais defeitos que comprometam a sua operação no mercado. Consoante o tipo de gás que a garrafa armazena, existem regras diferentes a seguir por parte das entidades de requalificação de garrafas e níveis de perigosidade diferentes. É de referir que este centro efetua a requalificação de embalagens de gases inertes e gases comburentes. As restantes embalagens são encaminhadas para outros centros de manutenção e requalificação, requerendo um tratamento diferente e cuidados adicionais.

De entre as várias gamas de produtos comercializados pelo grupo Air Liquide, existem algumas que passam por um controlo de qualidade mais rigoroso pois consistem em produtos aplicados a setores com maiores restrições e com *standards* de exigência mais adaptados às indústrias em que se inserem. Tem-se como exemplo os setores Alimentar, Farmacêutico ou da Saúde, que se regem por normas com maior rigor técnico.

Neste sentido, o conteúdo de impurezas é um dos maiores modos de falha que as empresas de gases atualmente enfrentam. Para além de aumentarem a probabilidade de danificação dos materiais que contém o produto em si e de poderem formar compostos adicionais indesejáveis, também prejudicam a sua qualidade. Daí deriva a questão relacionada com a humidade contida no interior de uma garrafa de gás. O produto a ser incluído numa garrafa de gás recarregável, que é sujeita periodicamente a uma prova de esforço onde todas as suas paredes internas são colocadas em contacto com água, tem um risco muito evidente relacionado com o facto de que, caso a embalagem não seja bem tratada após este processo, este pode vir a reduzir drasticamente a sua qualidade. Assim, o conteúdo de humidade contido no interior de uma garrafa de gás comprimido é crítico e é um dos objetos de investigação mais requeridos por parte da empresa. Deste modo, existe a garantia de que o produto possui as condições descritas nas suas folhas de especificação e que o controlo de qualidade é de tal forma rigoroso que transmite segurança ao cliente e perpetua a confiança e a qualidade dos serviços.

Adicionalmente, é relevante identificar outras oportunidades de melhoria no CMD que possam vir a constituir possíveis modos de falha e provocar efeitos *à posteriori*. Por exemplo, a importância da apresentação das embalagens de alta pressão é um dos requisitos a manter na empresa e é fundamental que haja um rigoroso controlo de qualidade para que as embalagens comercializadas não possuam possíveis modos de falha.

1.2 Objetivos

Com um intuito orientado para a otimização dos processos que ocorrem no centro ibérico de manutenção de embalagens de alta pressão, este projeto tem como principais objetivos:

- Efetuar a revisão do Catálogo Ibérico para preparação de embalagem de alta pressão;
  - Reunir a informação relativa aos componentes que integram uma embalagem de alta pressão, diferenciando as embalagens portuguesas das espanholas;
  - Elaborar um Catálogo Ibérico de Etiquetas Banana, discriminando portuguesas e espanholas;
- Estudar e propor soluções com o devido rigor técnico que levem à mitigação das potenciais falhas identificadas que têm influência sobre o conteúdo de humidade no interior das garrafas de gás;
  - Identificar oportunidades de melhoria no circuito de manutenção que afetam o teor de humidade no interior das garrafas;
  - Estudar o efeito causado pelo processo de secagem atual no teor de humidade;
  - Efetuar análise de risco recorrendo à técnica de modos de falha e seus efeitos e identificar quais os modos de falha que são mais críticos;
  - Propor uma solução técnica para monitorizar a humidade no interior das garrafas de gás no processo de secagem;
- Estudar e propor soluções com o devido rigor técnico que levem à mitigação das potenciais falhas identificadas que têm influência sobre a pintura da ogiva das garrafas de gás;
  - Identificar oportunidades de melhoria no circuito de manutenção que afetam o arrefecimento das garrafas;
  - Efetuar análise de risco recorrendo à técnica de modos de falha e seus efeitos e identificar quais os modos de falha que são mais críticos;
  - Propor uma solução técnica para diminuir a temperatura das garrafas de gás à saída do forno sem alterar as caraterísticas do aço que as constitui;
- Identificar outras oportunidades de melhoria no circuito de manutenção de embalagens de alta pressão e propor ações de mitigação;
- Criar uma visão fabril mais cuidada no que se refere ao seguimento de garrafas de gás e considerar a sua rastreabilidade (ou *traceability*) aquando da execução do circuito de manutenção de embalagens de gases a alta pressão.

2

Introdução

2.1 Indústria dos Gases

Com início na descoberta dos diversos gases e teorias relativas à sua origem, os desenvolvimentos relacionados com produtos gasosos, tecnologias de produção, tendências de mercado e possíveis aplicações, a Indústria dos Gases consiste numa conjuntura de factos que vieram a acontecer incessantemente e simultaneamente no tempo, em diversos locais do globo, aparentemente, de forma independente. Factos esses, que contam com vários intervenientes que vieram a estudar, investigar, descobrir, inventar, fundar e, sobretudo, construir a história dos gases industriais; fundamentais para a ciência, tecnologia e indústria global que hoje se conhecem em todos os mercados.

2.1.1 Air Liquide

Fundação

Desde os primórdios da história dos gases e fundação de empresas ligadas à sua distribuição até à sua expansão nas diferentes áreas e inovação de acordo com as necessidades dos diversos clientes, a Air Liquide, é líder de mercado.

Foi na empresa francesa de electricidade Cie Thomson-Houston Company, que Georges Claude, um curioso jovem engenheiro químico, veio a desenvolver experiências relacionadas com iluminação, as quais se vieram a tornar extremamente importantes para as suas posteriores descobertas [8].

Em meados dos anos 90 do século XIX, uma das fontes de iluminação provinha do acetileno que, na altura, era usado para produzir energia eléctrica [12]. Para que este composto seja produzido, é necessário ocorrer uma reação entre carbureto de cálcio (CaC_2) e água (H_2O), tal como demonstrado na equação 2.2 [13]. No entanto, para produzir carbureto de cálcio (ver equação 2.1), é necessário introduzir elevadas quantidades de energia [8], pois esta reação apenas se dá a elevadas temperaturas (aproximadamente, $2000°C$) [13].

A reação de produção de carbureto de cálcio:

$$CaO(s) + 3C(s) \rightarrow CaC_2(s) + CO(g) \tag{2.1}$$

$$CaC_2(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(s) + C_2H_2(g) \tag{2.2}$$

Para solucionar esta necessidade energética, Georges pensou em usar oxigénio para gerar calor. No entanto, naquela altura, o oxigénio era um gás dispendioso, sendo a sua produção efetuada através de eletrolise ou por reação química [8]. Daí surgiu a ideia de tentar separar o oxigénio do ar, o que o levou a inventar a primeira máquina de liquefação do ar por expansão [8].

Em paralelo com as suas experiências para liquefazer o ar, reparou igualmente na necessidade de usar acetileno para desenvolver componentes de iluminação, como anteriormente referido. Armazenado sob pressão, o acetileno é um composto explosivo [8]. Nesse sentido, Georges desenvolveu um método para diminuir a sua pressão de embalamento, aumentando a segurança no seu transporte, ao dissolver acetileno em acetona e armazenar estes dois compostos numa massa porosa [8].

Atualmente conhecido como inventor da luz néon para uso em iluminação e letreiros, Georges Claude, fundou, em 1902, a empresa L'Air Liquide: Societé Anonyme pour l'Etude et l'Exploitation des Procedes Georges Claude [8], atualmente conhecida por Air Liquide. A gestão da direção desta empresa ficou a cargo de um grande empreendedor e investidor, Paul Delorme, um colega de Georges Claude, na empresa de eletricidade [8].

No final dos anos 80 do século XIX, o *core business* da empresa AL centrou-se na produção e comercialização de gases industriais e medicinais [8].

Contribuição da Air Liquide na distribuição de gases industriais:

Durante a 1ª Guerra Mundial surgiu a necessidade de corte e soldadura de peças de metal nos navios usados. Assim, nos grandes portos marítimos, tornou-se comum empresas de gases aplicarem o uso de gases com vista ao corte por chama e soldadura [1], [8]. Gases industriais como o oxigénio e o acetileno eram produzidos única e exclusivamente por um pequeno conjunto de grandes empresas que resistiram às crises geradas pela guerra e conseguiram fornecer gases para todo o mundo [1]. Por esta altura, a Air Liquide teve oportunidade de expandir os seus negócios e abriu filiais tanto na Europa (*e.g.* França, Polónia, Espanha) como em países asiáticos (*e.g.* Rússia, Japão, Vietname) [8].

Durante a 2ª Guerra Mundial tornou-se uma prioridade para o governo da América do Norte colocar todos os esforços sobre o fabrico de garrafas de aço, uma vez que o seu custo nas vendas era considerado um dos maiores gastos de inventário [1]. Apesar da evolução significativa das técnicas de separação do ar atmosférico datada muito próxima da altura em que se deu a 1ª Guerra Mundial, a quantidade de clientes que necessitavam de gases industriais aumentou exponencialmente após este período, tornando-se lucrativo para as empresas de gases, efetuar o transporte do gás no estado líquido [8]. Entre 1900 e 2000 houve várias tentativas para aperfeiçoar a distribuição de gases na forma líquida, contudo, a técnica inventada por Georges Claude para separar os diversos gases do ar atmosférico, foi substituída em 1939 pela técnica de separação por expansão de turbina [8]. Esta que, mais tarde, foi desenvolvida por Pjotr Leonidovich Kapitza [8], um físico soviético

merecedor do Prémio Nobel da Física de 1978 devido às suas descobertas no campo da física de baixa temperatura [14].

A descoberta do transporte de oxigénio na forma líquida ou através de tubagens diretas de gás provenientes dos fabricantes, tornou-se rentável para clientes que necessitavam de fornecimentos constantes e a granel. Mais tarde, um acontecimento que também veio a influenciar a nova cadeia de abastecimento foi a criação de bombas de líquido criogénico, usadas para encher garrafas de gás até 150 bar [1].

O transporte de gases na forma líquida foi uma das maiores evoluções no transporte de gases, devido à vantagem que os gases liquefeitos dão no que se refere à capacidade de distribuição dos mesmos. Traduzindo, em números, um camião cisterna que transporte hidrogénio líquido, transporta mais seis vezes que uma que transporta este gás comprimido no estado gasoso e, um camião cisterna que transporte oxigénio líquido, o seu volume diminui num fator de 850 a 15°C e 1 bar [3].

Desde a sua fundação que a AL desenvolve tecnologias que recorram aos gases. Prova disso, foi a criação de um laboratório criogénico onde se efetuavam investigações e experiências com os gases para desenvolver novas aplicações [8]. Quando surgiu a oportunidade de transportar líquidos criogénicos, foi possível distribuir azoto líquido. Este passou a ter diversas aplicações que ainda hoje se conhecem, como por exemplo, a geração de alta pressão por vaporização de azoto, a inibição de certas reações químicas e a conservação de produtos perecíveis.

No início do século XX, a Indústria dos Gases voltou a vingar com a abertura de novas empresas de produção e distribuição de oxigénio e acetileno, gases largamente utilizados nos processos industriais [8]. A Air Liquide foi a empresa pioneira na produção e fornecimento de acetileno dissolvido e oxigénio criogénico, tendo um importante papel no desenvolvimento de soluções de corte e soldadura no mercado SWE [1] [8].

Atualmente a Air Liquide trata-se de uma empresa bem estabelecida no mercado. Distribui gases e os seus serviços em 78 países, tem cerca de 64 500 funcionários e aproximadamente 3,8 milhões de clientes.

O perfil do grupo é diversificado e tem como base diversos grupos de atividade, cada um deles, com a expressão demonstrada na Tabela 2.1, nos últimos três anos [10], [11]:

Tabela 2.1: Vendas Air Liquide nos grupos de atividade para os anos 2018, 2019 e 2020.

	Ano		
Vendas em m€	**2018**	**2019**	**2020**
Gas & Services	20 107	21 040	19 656
Engineering & Construction	430	328	250
Global Markets & Technologies	474	552	579
Total de Faturação	**21 011**	**21 920**	**20 485**

Dos grupos apresentados, o que possui uma maior expressão, nomeadamente, cerca de 96% é *Gas & Services* dividindo-se nas áreas de negócio da AL:

[1] *South West Europe*, *i.e.*, Sudoeste da Europa.

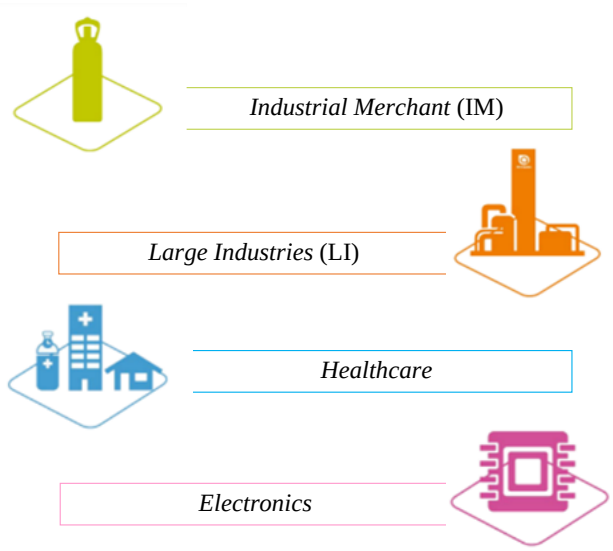


Figura 2.1: Áreas de negócio da Air Liquide no grupo *Gas & Services*.

Com quase metade da faturação da AL, a *Industrial Merchant* é uma área de investimento, estudo e interesse no grupo. A IM pode-se subdividir nos setores:

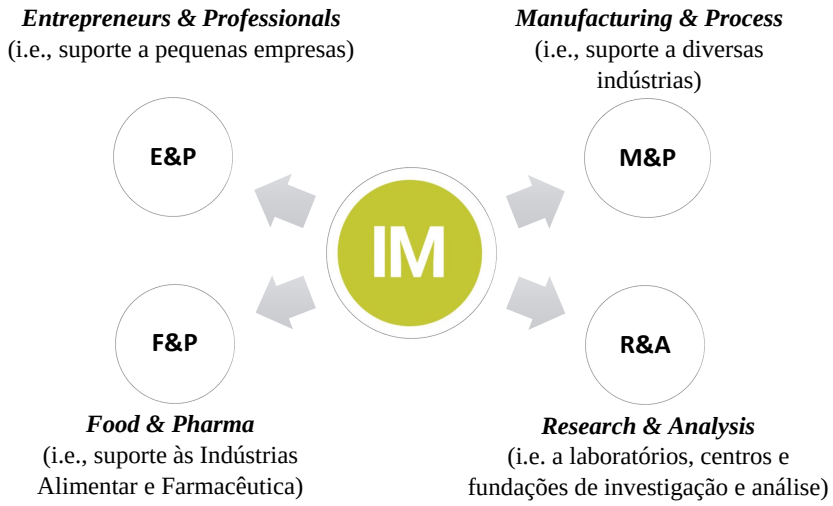


Figura 2.2: Setores pertencentes à área de negócio *Industrial Merchant*.

O atual *core-business* da AL baseia-se na separação, purificação e comercialização de gases, respetivos serviços e tecnologias aplicadas às diversas indústrias e à saúde. Para

além de ser uma empresa de capital intensivo, a AL tem vindo a efetuar investimentos ao longo dos últimos anos, com valores superiores a 3 mil milhões de euros[11]. É importante referir que, em 2020 e apesar da conjuntura proporcionada pela pandemia, e decréscimo nas vendas (ver Tabela 2.1), a empresa não fracassou nesta componente de desenvolvimento do negócio, o que demonstra uma postura favorável no mercado, direcionada para a constante melhoria e investigação de novos processos, métodos e serviços ou otimização dos existentes. Prova disso, são iniciativas, dentro do grupo, como o *Strengthened Efficiency Program*, iniciado em 2019 com um valor de alavancagem de 433 m€ [10].

Nos últimos 30 anos, a empresa obteve um crescimento na sua faturação com CAGR [2] de +5.8%, sendo que esta tendência reflete o bom desempenho do grupo. Apesar da sua maior inserção em mercados maduros, continua a inovar e melhorar os seus produtos e serviços, cada vez mais aliados à sustentabilidade [11].

Num contexto mundial, o valor das vendas AL para *Gas & Services* pode ser comparado para as diversas indústrias, consoante esteja localizado num mercado maduro ou num mercado não maduro. Verifica-se que ao longo dos anos, as percentagens de representação dos diversos mercados na partição das vendas, se mantêm aproximadamente constantes, com os seus valores de, aproximadamente, 40% para a América, 35% para a Europa, 22% para Ásia-Pacífico e 3% para África e Médio Oriente [11].

De forma análoga, a partição da faturação demonstrada pelo grupo por área de negócio no período 2018-2020, é semelhante para os diversos mercados, como se pode visualizar pela sua representação, em 2020, no gráfico da Figura 2.3 [11].

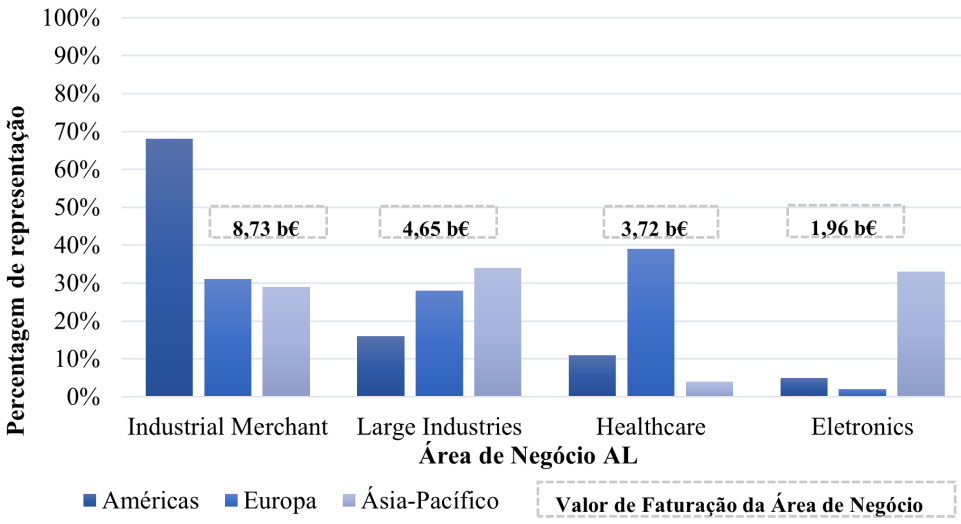


Figura 2.3: Repartição das Áreas de Negócio AL nas diferentes regiões, em 2020 (adaptada de [11]).

[2] *Compound Annual Growth Rate, i.e.*, Taxa Média Anual de Crescimento.

Através da sua análise é possível perceber que existe uma representação favorável por parte das Américas no mercado com maior incidência na área *Industrial Merchant*, a Europa possui o seu mercado de especialização mais centralizado na *Healthcare* e os serviços da *Large Industries* e da *Eletronics* são mais relevantes na Ásia- Pacífico. Aqui podem, efetivamente, ser destacados os mercados maduros dos não-maduros e a influência da deslocalização industrial no grupo. Por sua vez, verifica-se, por exemplo, que na área de negócio *Large Industries*, o valor da receita é superior para a Europa do que para Ásia-Pacífico pois o valor de faturação do primeiro é superior que o do segundo mercado. Importa referir que o mercado África e Médio Oriente não possui expressão no valor das vendas e, portanto, a região não foi considerada.

2.1.2 Definição e Classificação dos Gases

No ADR, os gases são abrangidos pela classe 2, na qual se inserem os gases puros, as misturas de gases, as misturas de um ou mais gases com uma ou mais matérias e os objetos que contém essas mesmas matérias.

Os gases pertencentes à classe 2 podem ser classificados da seguinte forma:

Tabela 2.2: Classificação dos gases pertencentes à Classe 2 no ADR [15].

Tipo de Gás	**Descrição quando sujeito à pressão de embalamento**	**Exemplos**
Gás Comprimido	Totalmente gasoso a $-50°C$ Temperatura crítica: Tc $\leqslant -50°C$.	O_2, N_2, Árgon, He, H_2, Ar Atmosférico
Gás Liquefeito a Alta Pressão	Parcialmente líquido . Temperatura crítica: $-50°C$ <Tc $\leqslant +65°C$.	Gás Natural (LGN)
Gás Liquefeito a Baixa Pressão	Parcialmente líquido. Temperatura crítica: Tc >$65°C$.	CO_2, N_2O, Butano, Propano, Amoníaco
Gás Liquefeito Refrigerado	Parcialmente líquido devido à sua baixa temperatura.	O_2 líquido
Gás Dissolvido	Dissolvido num solvente líquido pois os gases têm tendência a decompor-se.	Acetileno
Gás Adsorvido	Adsorvido numa massa sólida e porosa. A $+20°C$ a pressão interna da embalagem tem de ser inferior a 1,013 bar e a $+50°C$ inferior a 3 bar	Carbono Orgânico

Todos os gases acima descritos são incluídos num dos seguintes grupos, consoante as suas propriedades perigosas:

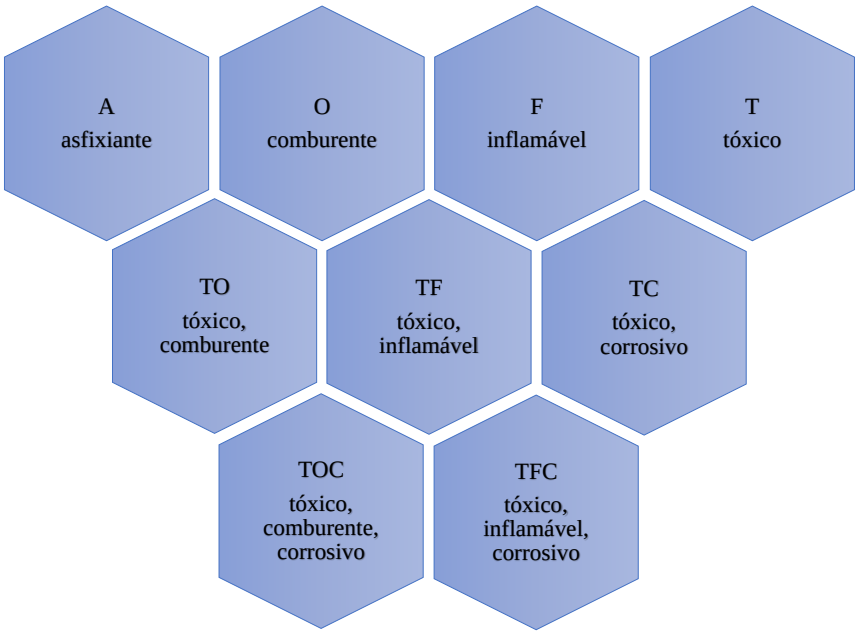


Figura 2.4: Perigosidade dos gases [15].

Os gases industriais e medicinais são os gases atualmente mais comercializados para as diversas indústrias. O oxigénio, o azoto e o árgon permanecem na linha da frente com aplicações vastas nas Indústrias do Corte e Soldadura, Automotiva, dos Polímeros, Química, e na Saúde.

Estes gases podem-se apresentar de duas formas: como gases puros ou de elevada pureza e em misturas de gases, consoante as exigências das diversas atividades envolvidas nos processos adotados pelas indústrias.

A Norma EN 13 096 esclarece que "Um gás puro é uma substância que ocorre tecnicamente pura em embalagens de gases comprimidos. Um gás puro contém outras componentes provenientes de processos de produção ou adicionados para manter a estabilidade do produto, contanto que as concentrações desses componentes não mudam a classificação ou as regulamentações de transporte tais como a razão de enchimento, a pressão de enchimento ou o teste de pressão" [3].

Atualmente, está subentendido que não existem gases com pureza equivalente a 100%, mas existem gases cuja pureza se encontra maximizada. Os diferentes gases ou misturas de gases que possam surgir com purezas mais elevadas variam consoante a quantidade de impurezas, as quais são provenientes dos próprios processos de produção dos gases, bem como dos processos de enchimento que são transversais ao transporte dos produtos [3].

Por outro lado, de modo a conservar a estabilidade de determinados gases, é, por vezes, necessário adicionar constituintes. Apesar disso, estes não devem mudar a classificação dos gases e as condições de transporte, armazenamento, manuseamento e requalificação das embalagens que os contêm [15].

Para que determinados gases ou misturas de gases se possam considerar gases especiais têm de cumprir com os seguintes critérios [3]:

- A especificação técnica do gás ou mistura de gás tem de ser mais restringida (nomeadamente no que concerne ao conteúdo de componentes específicos ou à sua pureza), nomeadamente, os gases puros devem igualar ou superiorizar a percentagem de 99,995% de pureza;
- O seu pré-tratamento, purificação, enchimento, manutenção, etc, requer um rigor técnico mais acrescido;
- Ocorrem eventos raros de saída de gases, mesmo tendo em consideração o volume de aplicação do mesmo (*e.g.* isótopos estáveis);
- A sua origem está fora do domínio dos gases industriais, podendo advir das indústrias química e/ou petroquímica (Cloreto de Hidrogénio, Silano, etc);
- As suas propriedades físico-químicas (*e.g.* corrosão) e o seu nível de perigosidade é específico;
- O seu fornecimento e distribuição ocorre em embalagens específicas tais como as de gases comprimidos (embalagens com antirretorno).

Os gases especiais podem ser categorizados em gases puros, misturas de gases e em gases eletrónicos, que por sua vez podem ser puros ou misturas de gases [3]. Os gases de alta pureza são também utilizados na produção de componentes eletrónicos. Contudo, ambos os exemplos mencionados estão fora do âmbito do projeto realizado, pelo que não serão abordados.

Por outro lado, conhecidos por gases de classe-zero e pertencentes aos gases especiais, os gases utilizados em instrumentos de calibração possuem quantidades residuais de impurezas [3] (por norma, oxigénio e humidade, inerentes ao processo de produção).

Em adição, existem algumas aplicações que necessitam de misturas de gases para criar as condições necessárias à sua execução. Neste sentido, no que se refere aos gases industriais, estes podem formar diversas misturas recorrendo aos gases industriais mais comuns, anteriormente mencionados, e a outros para poder satisfazer as necessidades de mercados específicos [16]. Uma mistura de gases é definida na Norma ISO 5145 como uma "combinação intencional de dois ou mais gases, que podem estar tanto na fase gasosa, como liquefeitos quando são submetidos à pressão" [17].

Cada vez com aplicações mais exigentes e níveis de controlo de qualidade mais restritos, as diversas indústrias às quais os gases se destinam, sejam estes industriais ou

medicinais permitiram que se criassem gamas com maior rigor técnico no que concerne ao seu grau de pureza. Estando na origem da cadeia de abastecimento, a Air Liquide, preocupa-se continuamente com as tendências de mercado e atende às necessidades dos diversos clientes fornecendo gases e misturas de gases.

O grau de pureza indica a pureza de um determinado gás ou mistura de gases. Esta consiste no conteúdo da molécula principal, usualmente representada pela fração molar ou em percentagem [3]. Outra forma adotada pelas empresas de gases para os produtos concebidos com gases puros é através de uma notação por ponto, sendo esta uma forma muito lógica de apresentação [3]:

- Indica o conteúdo mínimo de um gás puro através de dois números separados por um ponto;
- O número que antecede o ponto indica a quantidade de números '9' na percentagem de pureza do gás;
- O número que sucede o ponto indica o primeiro decimal que se desvia do último nove.

Um exemplo desta notação por ponto é o Argon 5.0 que tem uma pureza mínima de 99.9996% em fração molar. Adicionalmente, existem outras formas de apresentar produtos conforme a pureza que possuem no gás principal, nomeadamente através de nomes comerciais que recorrem à aplicação onde estes gases puros são aplicados (*e.g.*, Hélio GC-ECD) [3].

Finalmente, o critério que é mais recorrente, e o que é usado para especificar produtos Air Liquide, é através da criação de listas que indicam as quantidades dos componentes, limitando as suas concentrações máximas em gases puros ou misturas de gases, com uso da notação N50. Em adição, isto pode ser efetuado através de ppm (*parts per million*, 1×10^{-6}), ppb (*parts per billion*, 1×10^{-9}) ou até ppt (*parts per trillion*, 1×10^{-12}) [3].

2.1.3 *Supply Chain*: Cadeia de Abastecimento

Existem duas formas de transportar gases industriais [3]:

- No estado gasoso, em garrafas de gás comprimido;
- No estado líquido, por norma, na forma criogénica e em embalagens especiais isoladas.

Para os gases industriais cuja procura é mais recorrente, seguem-se as possibilidades quanto ao seu fornecimento, seja na forma gasosa ou líquida [3]:

Tabela 2.3: Possibilidades de fornecimentos dos gases industriais comuns(adaptada de [3]).

Estado	**Fornecimento**	**Gás Industrial**						
		N_2	O_2	Ar	CO_2	He	H_2	CO
Gasoso	Garrafas de Gás Comprimido	x	x	x	$x^{1)}$	x	x	x
	Quadros de Garrafas de Gás	x	x	x	$x^{1)}$	x	x	x
	Camiões-cisterna de Gás Comprimido	-	-	-	-	x	x	x
	Sistema por *Pipeline*	$x^{2)}$	$x^{2)}$	-	$x^{2)}$	-	$x^{2)}$	-
Líquido	Recipientes Criogénicos	x	x	x	-	x	x	-
	Camiões-cisterna	x	x	x	x	x	x	-

[1)] Quando estão sob pressão, estes gases ficam liquefeitos.
[2)] Existem limitações nas redes de tubagens, a nível local.

A cadeia de abastecimento é gerida de acordo com o esquema presente na Figura 2.5.

No que diz respeito ao transporte das embalagens de gases, a segurança tem de ser garantida e as garrafas são acondicionadas em camiões que transportem embalagens, na posição vertical e presas por cintas de modo a diminuir a probabilidade de tombo. É de extrema importância para a empresa que se cumpram todas as normas para o transporte de matérias perigosas. Para tal, seguem-se as regras e recomendações de transporte presentes no ADR.

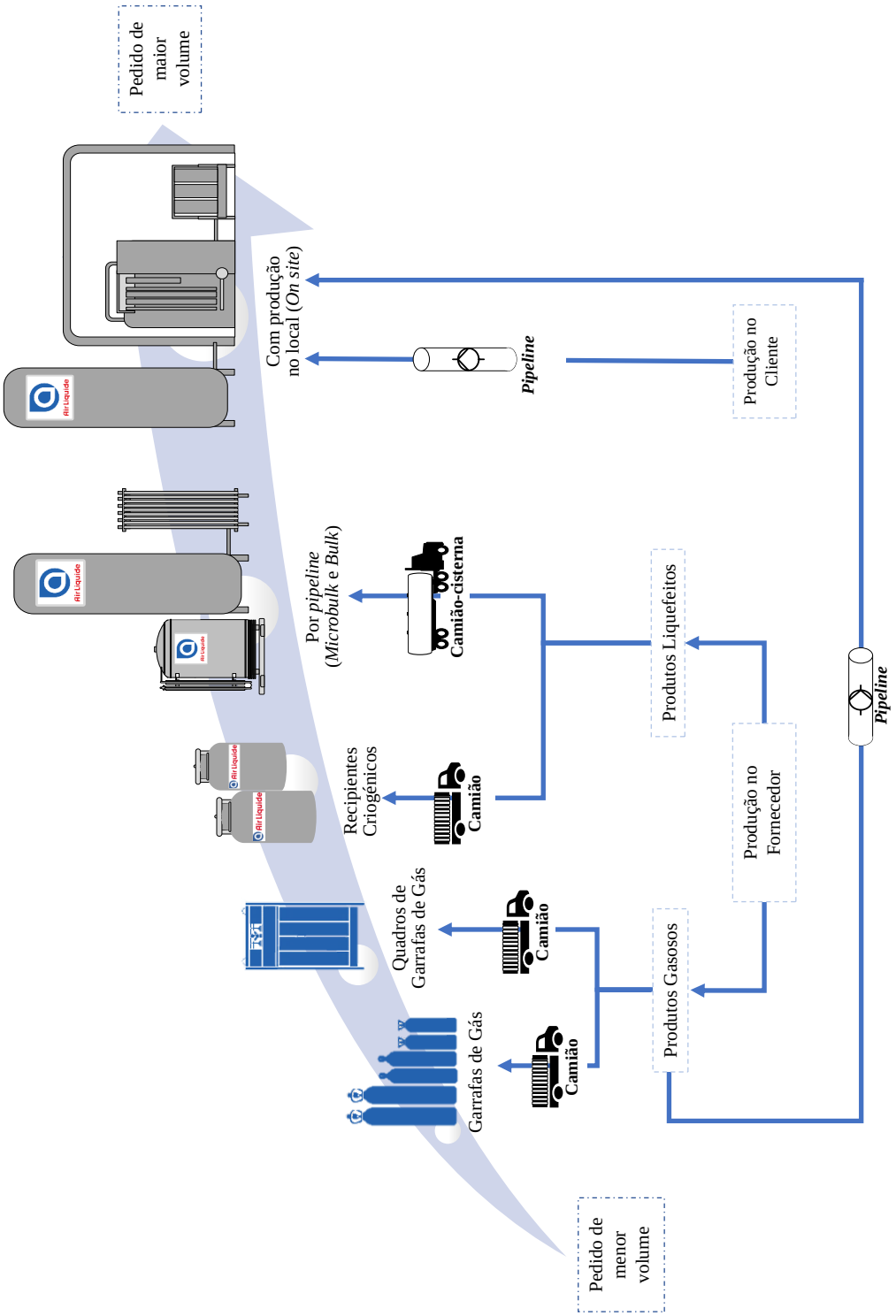


Figura 2.5: Cadeia de Abastecimento, com recorrência ao *software Microsoft Visio* (adaptada de [3]).

2.1.4 Fabrico de Garrafas de Gás Comprimido

Em meados de 1850, a comercialização e transporte de gases industriais em reduzidas quantidades efetuava-se através de recipientes metálicos propensos a fugas, tais como embalagens de couro ou têxteis. A partir de 1886 começaram a surgir as primeiras patentes que visavam o fabrico de garrafas de gás de alta pressão que pudessem transportar gases de forma segura e até uma pressão de 100 bar. Com o avanço no fabrico destas embalagens, a Indústria dos Gases foi evoluindo, inaugurando-se mais empresas de produção e embalamento dos mesmos [8].

No que concerne ao transporte de gases em garrafas de gás, os materiais que ofereceram maior estabilidades aquando do contacto com o gás de serviço e que desempenharam maior resistência com o manuseamento e o transporte foram [3]:

- Aço (ligas de ferro, carbono, crómio, níquel, etc);
- Alumínio;
- Fibras compósitas.

A produção de garrafas de gás comprimido baseia-se essencialmente em três categorias: garrafas de gás não soldadas, garrafas de gás soldadas e garrafas de gás compósitas [18]. Este projeto, apenas incide sobre o estudo de garrafas não soldadas e cujos materiais de construção são o aço e o alumínio.

As garrafas de gás não soldadas são construídas através de uma única peça que é forjada e moldada de forma cilíndrica a temperaturas muito elevadas. Por norma, estas garrafas ficam com uma configuração de fundo convexo. No final da parte principal da garrafa estar construída, é adicionada a gola à garrafa [18].

No caso das garrafas soldadas, estas passam por um processo no qual é produzido um tubo, sendo, à posteriori, adicionadas duas partes de união: a parte superior da garrafa constituída pelo gargalo e ogiva da garrafa e o fundo da garrafa [18]. Adicionalmente, nos casos em que a garrafa é moldada de modo a ficar com um fundo côncavo, necessita de se adicionar uma base de apoio postiça que é soldada à peça única que deu origem à garrafa de gás [18].

O monóxido de carbono continua a ser um dos piores casos e o que serve de caso de estudo para os diferentes fabricantes de garrafas de gás de elevada pressão, sendo um dos seus principais objetivos obterem testes à corrosão por stress positivos [18]. O monóxido de carbono, juntamente com pequenas quantidades de impurezas que contenham enxofre e água, potencia fortemente a formação de corrosão por stress [18].

Garrafas com material de construção em aço e outros metais comuns podem sofrer este tipo de corrosão de forma acelerada a qualquer pressão, ao passo que ligas de aço com elevadas quantidades de crómio são suficientemente resistentes à corrosão, caso estas permaneçam com poucas quantidades de água [18].

Por outro lado, elementos como o ferro e o níquel, reagem única e exclusivamente com o monóxido de carbono e formam carbonilos [18]. O cobre pode também oferecer vantagens quanto à corrosão ao monóxido de carbono em linhas a pressão elevada [18].

No que concerne a garrafas para armazenamento de gases na forma líquida, tem de haver um cuidado mais exigente e construir de garrafas que possuam um bom isolamento de forma a conservar a temperatura do gás e o seu volume inicial [18].

Os líquidos criogénicos são igualmente conhecidos por causar fragilização de aço de carbono [18], sendo um dos piores casos. No entanto, como saem do âmbito deste projeto não serão abordados.

2.1.5 Componentes e Indentificação de uma Garrafa de Gás a Alta Pressão

O manuseamento, comercialização e transporte de uma garrafa de gás em países pertencentes à União Europeia (UE) está regulamentado na Diretiva 2010/35/EU TPED [3]. Esta diretiva promulga uma marcação obrigatória, semelhante à marcação CE para os diferentes produtos que circulam na UE e também aprova o produto como conforme os requisitos essenciais de segurança: a marcação do símbolo *Pi* (π) [19].

Em adição, o ADR complementa a diretiva anteriormente mencionada na medida da requalificação e manutenção de garrafas de gás com matérias perigosas e seu posterior transporte e distribuição, em veículos destinados a esse fim [19]. É importante referir que as garrafas apenas poderão ser gravadas com a marcação *Pi* se cumprirem com os requisitos pertencentes à TPED, ao ADR e às normas definidas pelos *standards* europeus [19]. Uma garrafa que tenha esta marcação pode, portanto, circular "livremente" na União Europeia.

Adicionalmente, existem garrafas de gás com a marcação *Epsilon* (ϵ), que é a gravação antecedente à gravação *Pi* [19]. Nestes casos, o organismo competente de inspeção pode efetuar uma marcação *Pi*, após aprovação da garrafa de gás no *testing* [19].

Na realidade, as garrafas de gás comprimido passaram por uma evolução, da qual se pretendia otimizar a segurança de manuseamento, prolongar o tempo de serviço até à requalificação (no caso de garrafas recarregáveis) e melhorar o desempenho da mesma tanto quanto à exposição interna ao gás, como às condições a que a mesma poderia estar sujeita a nível da superfície externa.

Atualmente, as garrafas de gás são comercializadas nos seguintes formatos, consoante a quantidade de gás que o cliente pretenda:

- à unidade - garrafa individual de gás comprimido (ver Figura 2.6);
- num quadro de garrafas, *i.e.*, conjunto de 12, 14, 15 ou 16 garrafas de gás comprimido (ver Figura 2.6).

[3] *Transportable Pressure Equipment Directive(2010/35/EU)*, *i.e.*, Diretiva n. 2010/35 relativa aos Equipamentos sob Pressão Transportáveis.

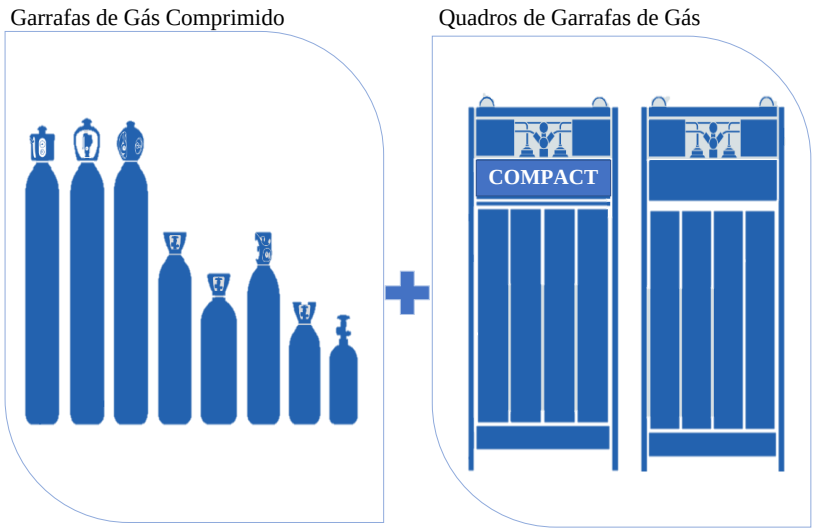


Figura 2.6: Embalagens de Alta Pressão (adaptada de [20]).

As garrafas de gás são destinadas a conter gases à pressão e têm de estar preparadas para tal. Portanto, garrafas de gás recarregáveis são de ligas metálicas de diversos materiais, e variam consoante o produto contido, a sua toxicidade e, sobretudo a pressão que estes exercem no interior da garrafa. Por sua vez, os quadros de garrafas, consistem num conjunto de garrafas interconectadas por uma tubagem coletora e rigorosamente fixas por uma armação metálica. Existe uma única saída de gás que canaliza o gás contido nas diversas garrafas e onde é conectada a válvula de abertura da embalagem.

Existem diversas formas ergonómicas de comercializar estas embalagens que vão desde as garrafas de capacidade em litros de água de 2,5L às de 50L e pressões de enchimento que variam consoante o tipo de gás, mas que podem atingir atualmente os 300 bar de pressão de enchimento (gamas *Compact* para gases como o azoto, o oxigénio, o hélio e misturas aplicadas na soldadura) [3].

A nível industrial, os tamanhos mais comuns consistem nas garrafas cuja capacidade é de 50L e de 30L ou 20L, sendo o sistema de identificação adotado pelas empresas de gases uma letra seguida da sua capacidade (por exemplo, B50 ou L50).

A nível de transporte de embalagens de gases comprimidos, o acordo europeu relativo ao transporte e distribuição de produtos perigosos em estrada, isto é, o ADR define a regulamentação a ser cumprida na sua execução [3]. De entre a documentação necessária, o condutor deve-se fazer acompanhar, por certificados de aprovação (em relação ao veículo), de treino (em relação ao condutor), de seguro de qualidade (refere-se ao transportador), o documento de entrega (em relação ao produto a ser transportado) e as guias referentes às regras de segurança.

2.1.5.1 Corpo da garrafa de gás

Considera-se corpo da garrafa de gás à zona a jusante do topo da mesma, nomeadamente, a partir da marcação por cores que indica o conteúdo da embalagem de alta pressão. Assim, o corpo da garrafa assemelha-se às paredes laterais de um cilindro. Estas, devem ser suficientemente resistentes para suster a pressão do gás contido. Por questões relacionadas com a engenharia envolvida no desenho de construção da garrafa de gás, são a parte da garrafa com menor espessura.

O ADR exige um valor mínimo para espessura da parede de um recipiente sob pressão com base nos diâmetros do mesmo [15]. Esta regulamentação deve ser rigorosamente seguida por parte dos fabricantes de embalagens de alta pressão sob risco de incorrerem numa infração grave.

2.1.5.2 Ogiva da garrafa de gás

Denomina-se por ogiva a parte não cilíndrica que se encontra no topo da garrafa de gás[15] e que termina sob forma de gargalo. No gargalo é onde é encaixada a gola da garrafa: uma peça não soldada, feita de um material compatível com o material de construção da garrafa que deve ser suficientemente resistente para resistir ao aperto do capacete [21].

Por sua vez, a Norma ISO 13769 determina que existem marcações que identificam a origem da garrafa, o intuito do seu serviço e a validade do último teste de requalificação à qual foi sujeita. É de extrema importância a sua conservação para quem manuseia a garrafa de gás saber quais os riscos associados à atividade [22].

Marcação por gravações na ogiva

O ADR define que devem ser efetuadas marcações recorrendo à gravação permanente na parte superior da embalagem (por norma, a ogiva) de fabrico, certificação e operacionais em todos os recipientes sob pressão recarregáveis "UN". Para a correta identificação das garrafas de gás comprimido, de acordo com a Norma ISO 13769, têm de ser gravadas com marcações próprias, sendo as mais importantes [22]:

- Marca do fabricante da garrafa;
- $N°$ de série do fabrico;
- Pressão de teste (em bar);
- Capacidade de água da garrafa (em L);
- Peso da garrafa vazia (incluindo a suporte, etiqueta para gargalo e válvula, mas sem tampa), *i.e.*, a tara da garrafa;
- Nome do produto a conter (opcional devido às mutações de gás de serviço);

- Carga máxima admissível (em kg/L) ou "grau de enchimento" (peso máximo de produto que, por cada unidade de capacidade, pode conter para garantir que a 60°C existe um certo volume da garrafa ocupada pelo produto em fase gasosa);
- Peso máximo da garrafa após cheia (opcional);
- Data e punção do último *testing* que foi sujeita.

É importante referir que estas gravações "contam a história" de uma dada garrafa, pelo que as mesmas não podem ser alteradas ou retiradas. A punção da gravação é, por norma feita, através de sistemas de marcação automatizados, presentes nas fábricas de garrafas de gás em série, mas podem igualmente ser efetuadas recorrendo a instrumentos de gravação pneumáticos ou a ferramentas de punção. A norma anteriormente referida, regulamenta a profundidade da gravação para os diferentes tipos de materiais de construção. A gravação de uma garrafa de gás comprimido está ilustrada na Figura 2.7.

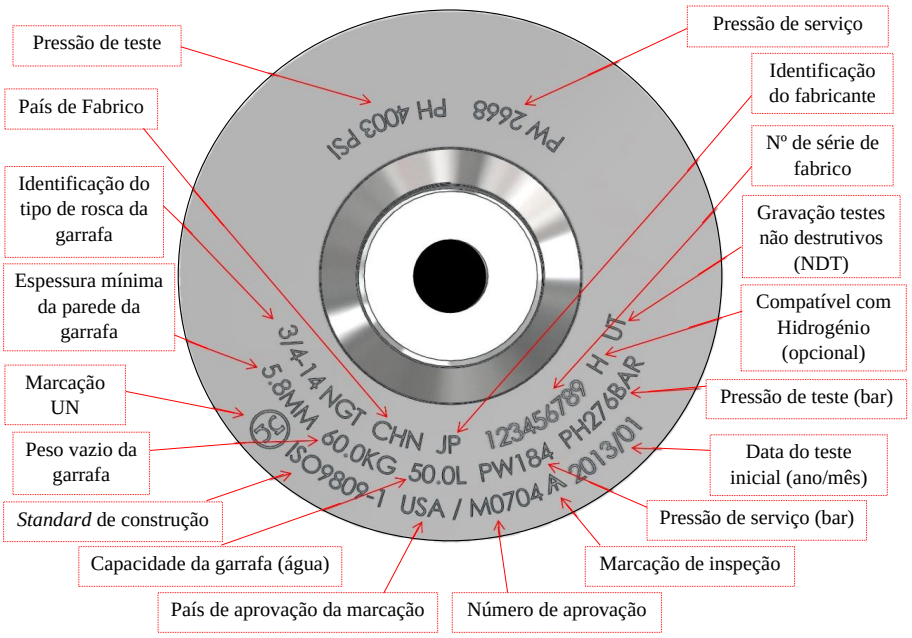


Figura 2.7: Marcações por gravação na ogiva de uma garrafa de gás comprimido (adaptada de [22], [23]).

Marcação por código de cores da ogiva

Após vários problemas associados às permutas de garrafas de gás entre países da UE e ao seu tratamento e requalificação, em países com filiais pertencentes à mesma empresa de gás, houve a necessidade de se criar regras transversais aos diversos países, sem colocar em causa as próprias normas aplicadas em países específicos. Assim, através da norma europeia *standard* EN 1089 é possível classificar os gases de acordo com o seu

comportamento físico-químico, através de um código de cores presente na zona da ogiva da garrafa [3].

As cores usadas neste local específico da garrafa servem para completar a informação contida nos acessórios de identificação da embalagem, em particular, para identificar o seu conteúdo apenas pela cor que a mesma apresenta e sem necessitar de efetuar a leitura das etiquetas de especificação do produto. O sistema de codificação é particularmente vantajoso na identificação do conteúdo das garrafas, em possíveis situações de emergência. O sistema de codificação pela cor deve ser apresentado em função do sistema RAL [4].

O sistema de codificação é apresentado na Tabela 2.4, de acordo com a sua perigosidade primária [24]. Se se considerarem os gases no seu estado individual, nomeadamente, gases puros, o sistema de codificação [24], apresenta-se conforme a Tabela 2.5.

Tabela 2.4: Sistema de codificação por cores, de acordo com a perigosidade primária do gás [24] com recorrência ao *software Paint 3D* e ao *website* `https://rgb.to/ral`.

Cor da Ogiva	Representação na Garrafa de Gás	Perigo Primário do Gás ou Mistura de Gases	Exemplos
RAL 1018		Tóxico e/ou corrosivo	Monóxido de Carbono Amoníaco Dióxido de Enxofre
RAL 3000		Inflamável	Hidrogénio Metano Propano Misturas de Árgon e Hidrogénio
RAL 5012		Oxidante	Misturas com Oxigénio
RAL 6018		Inerte	Gases inertes Gases nobres Misturas neutras Ar comprimido

Em adição aos *standards* apresentados pela norma, é obrigatório que o corpo da garrafa

[4] registo RAL 840 HR, *RAL German Institute for Quality Assurance and Certification*, Siegburger Strasse 39, D-53757 Sankt Augustin, Germany `www.ral.de`.

de gás de produtos destinados ao setor medicinal tenha aplicada a tinta branca RAL 9010 [24]. O corpo de uma garrafa de gás industrial pode ser de outra cor RAL, desde que se salvaguarde que não haja discordância com a cor especificada na ogiva [24].

Tabela 2.5: Sistema de codificação por cores para os gases induviduais [24] com recorrência ao *software Paint 3D* e ao *website* `https://rgb.to/ral`.

Cor da Ogiva	**Representação na Garrafa de Gás**	**Gás Puro**
RAL 3009		Acetileno
RAL 5010		Protóxido de Azoto
RAL 6001		Árgon
RAL 7037		Dióxido de Carbono
RAL 8008		Hélio
RAL 9005		Azoto
RAL 9010		Oxigénio

2.1.5.3 Base da garrafa de gás

A base ou o fundo da garrafa de gás consistem na sua parte inferior, abaixo do corpo da garrafa. Segundo o ADR, o seu formato deve ser hemisférico, elíptico ou côncavo, consoante o tipo de conceção pretendida e possuir uma espessura superior à do corpo da garrafa [15].

As garrafas que possuem uma configuração côncava (hemisférica ou elíptica) carecem de apoio para se manterem na posição vertical, pelo que é necessário que se adicione um acessório fundamental para a sua estabilidade: uma base de apoio. De acordo com a Norma 9809-1, o seu formato deve ser preferencialmente cilíndrico, com um material compatível ao do corpo e esta peça deve ser encaixada na base do corpo da garrafa sem recorrer à soldadura [21]. As garrafas com bases de apoio têm de ser monitorizadas de forma atenta pois a junção entre o corpo da garrafa e a base de apoio postiça é um ponto de fragilização [21]. Na execução da inspeção, um especial cuidado é requerido neste crítico local de inclusão de água, pertencente à embalagem.

2.1.5.4 Válvula da garrafa de gás

Uma das componentes integrantes da garrafa de gás e considerada a mais importante que integra uma embalagem de gás comprimido é a válvula. Muitos estudos foram feitos e tantos outos têm vindo a ser desenvolvidos na tentativa de desenhar e construir as válvulas com maior recorrência à engenharia.

Fundamentalmente, a função da válvula consiste no isolamento hermético de uma garrafa de gás. Neste sentido, é criterioso o cumprimento dos requisitos essenciais de saúde e segurança, principalmente, no que se refere à contenção da pressão do gás e ao vazamento acidental da garrafa, e a compatibilidade do material de construção da válvula com o gás ou mistura de gases a conter na embalagem de alta pressão [25]. As Normas ISO 11114-1 e ISO 11114-2 definem os materiais que são química e fisicamente compatíveis com os diversos gases industriais, sejam estes metálicos ou não metálicos, respetivamente.

Tipos de válvulas

A Compressed Gas Association (CGA) define os *standards* de compatibilidade dos diferentes gases comprimidos para cada tipo de válvula. Existem quatro tipos de válvulas: válvulas de contenção de pressão, válvulas de embalamento, válvula com *O-ring* e válvula de diafragma [26].

De entre estas válvulas, com uma configuração *standard*, destaca-se uma lista com as válvulas mais recentemente aplicadas à indústria dos gases comprimidos.

RPV-NRV: uma opção viável

Adequadas ao transporte de gases industriais, principalmente, aqueles cujas aplicações se destinam à conservação da qualidade do gás, com a especificação original, as válvulas mais recentemente presentes no mercado dos gases, e que vieram a ter uma elevada taxa de adesão por parte das empresas que comercializam e distribuem gases, são as que incorporam RPDs [5], comummente conhecidas por RPV-NRVs [6]. Estima-se que na Europa, haja uma adesão às válvulas RPV-NRV de cerca de 80% [27].

Amplamente eficazes, as RPV-NRV possuem uma conceção própria que as permite conter uma pressão residual positiva em relação à atmosfera dentro da garrafa de gás, impedindo o seu completo vazamento [28]. Esta particularidade é de extrema conveniência, na medida que não permite o refluxo de matérias de processos a jusante, durante a utilização da garrafa, nem a entrada de contaminantes, mesmo com a válvula acidentalmente aberta [28].

Para além das vantagens no que diz respeito à qualidade do gás usado pelo cliente, as garrafas cuja montagem ocorre com RPV-NRV, deixam de estar sujeitas à fragilização do interior da garrafa por exposições a contaminantes, prolongando o seu tempo ao serviço. Em adição, garrafas que contenham um determinado gás ao serviço e que apenas sejam encaminhadas para os centros de enchimento de garrafas de gás, podem ser diretamente cheias com o mesmo gás, sem que seja necessário efetuar ciclos de lavagem do interior da embalagem. Estas vantagens minimizam tanto os problemas associados à comercialização de gases industriais como os custos envolvidos no tratamento de uma garrafa de gás comprimido. Para além de económico, este mecanismo permite uma maior flexibilidade no que concerne aos tempos de resposta por parte das empresas que distribuem gases industriais.

Em suma, de entre as vantagens que a tecnologia envolvida numa válvula RPV-NRV tem, as de maior relevância são: a inibição da contaminação do estado interior da garrafa de gás e a perpetuação das condições de qualidade e segurança originais do gás contido.

É de notar que o uso de RPV-NRV implica uma qualidade de gás que cumpra com os parâmetros apresentados na Tabela 2.6, que por norma, são aprovados para os gases industriais.

Infelizmente, as RPV-NRVs não são aplicadas a todas as embalagens de gases comprimidos. Exemplos encontram-se nas garrafas de gás destinadas aos mercados laboratoriais que necessitam de determinadas misturas com composições específicas e calibradas, particularmente, para uma dada aplicação.

[5] *Residual Pressure Devices*,*i.e.*, acessórios de pressão residual.
[6] *Residual Pressure Valve - Non Return Valve*,*i.e.*, válvulas de pressão residual.

Tabela 2.6: Qualidade de gás exigida de um numa embalagem de alta pressão com RPV-NRV (adaptada de [28]).

Parâmetro	Para oxigénio	Para todos os outros gases industriais, incluindo o ar
Ponto de orvalho [1] $\leqslant -40°C$ (a pressão atmosférica)	x	x
Conteúdo em óleos e gorduras $\leqslant 0,10 mg/m^3$	x	x
Nível de pureza mínima $\geq$ 99,50% v/v	x	-
Conteúdo em hidro-carbonetos $\leqslant 0,01\% v/v$	x	-
Tamanho máximo de partículas $\leqslant 40m$	x	x

[1] Ponto de orvalho, ou temperatura de saturação, é a temperatura à qual uma mistura que contenha vapor de água e ar está saturada e existe condensação de água [29].

Remoção e montagem da válvula

A montagem da válvula é regulamentada pela Norma ISO 13341, a qual define explicitamente os procedimentos a adotar nessa mesma atividade.

Atualmente, existem máquinas de aperto das válvulas que impõem um determinado binário na válvula das garrafas de gás. É necessário rigor técnico nesta atividade de modo a assegurar que a válvula está bem colocada e que a rosca da garrafa se encontra em condições próprias de evitar a rotação da mesma durante e após o aperto [25]. O eixo da garrafa deve ser em todo e qualquer caso alinhado com o eixo da válvula [25], sendo que quando esta situação não é verificada, a válvula deve ser retirada e as roscas inspecionadas sob suspeita de defeito ou rutura. Diversos binários de aperto são aplicados, consoante o tipo de material de construção da garrafa. Um caso particular, são as garrafas de alumínio, cujo binário de aperto tem de ser menor por se tratar de um metal de liga leve, não sendo recomendada a criação de demasiado stress em torno da rosca da garrafa [25]. Para as diferentes garrafas, é possível definir os binários mínimos e máximos de aperto. A Norma ISO 11363-1, especifica os binários para as roscas comuns providas com conicidade própria, e um ângulo definido de 55° (17E e 25E) [25]. Em complementaridade, a Norma ISO 11363-2, promulga a especificação dos medidores de conformidade da rosca da garrafa que devem cumprir determinados parâmetros [30].

Manutenção das roscas

Uma vez que se trata do ponto de união entre a garrafa de gás e a válvula, a rosca da gola e a rosca da válvula têm de ser examinadas, de modo a garantir que cumprem com as dimensões *standard* [25], definidas na Norma ISO 11363-1. A inspeção visual deve ter um controlo rigoroso e especial atenção deve ser dada a garrafas de liga de alumínio pois

estas possuem a tendência de conter defeitos por stress na rosca do gargalo e na parte superior da superfície interna da ogiva [25]. Os critérios de aceitação são especificados na Norma ISO 22434 que define que válvulas com a rosca demasiado desgastada, com contaminação e corrosão agravada não podem ser de novo colocadas ao serviço sem a sua manutenção [25]. Especial atenção deve ser dada a válvulas cujo destino se encontre ao serviço com oxigénio ou misturas de gases oxidantes (*e.g.* com conteúdo em oxigénio superior a 23,5%) [25], [31], [32].

De modo a selar a garrafa de gás de forma mais eficaz, é recorrente que se utilizem fitas plásticas de isolamento ou agentes selantes que isolem bem as roscas e não sejam incompatíveis com o gás de serviço (por exemplo, fita de PTFE (*Teflon*) [7]). Quando se remove a válvula antiga, estes materiais tendem a desfazer-se e criar contaminações seja na rosca, seja no interior da garrafa de gás. A Norma ISO 13341 especifica que na execução de atividades de intervenção, é necessário garantir que não existem detritos ou contaminantes no interior da garrafa [25]. Antes de se colocar a válvula, é necessário verificar que a superfície interna da garrafa de gás e a rosca do gargalo se encontram limpas e secas [25].

2.1.5.5 Capacete da garrafa de gás

O capacete ou "tulipa" (designação em espanhol) consiste no acessório pertencente à embalagem que tem como função proteger a válvula de uma garrafa individual e permitir o seu seguro manuseamento, transporte e armazenamento [33]. Neste caso, os capacetes são única e exclusivamente aplicados em garrafas unitárias, sendo que os quadros de garrafas possuem uma proteção própria que não requer a necessidade de um capacete para proteger as válvulas aplicadas nas diversas garrafas.

O capacete tem de ser de um material suficientemente resistente e deve ser colocado na garrafa de gás através de uma rosca, que, por norma, se encontra na gola que assenta sobre a ogiva da garrafa. O seu desenho deve ser de tal forma rigoroso para que a válvula fique no seu interior, protegida e seja, ao mesmo tempo, acessível para o utilizador [33].

Das diversas configurações que um capacete pode ser concebido, existe um estudo que incide sobre o seu desenho e, consequentemente, o seu formato tem vindo a ser reajustado, de modo que a sua configuração seja, para além de funcional (com capacidade de proteger a válvula, quando esta é sujeita a fatores adversos), ergonómica (acessível e de fácil manejo, por parte de quem manuseia a garrafa). Na Figura 2.8 apresentam-se algumas das configurações de capacetes de garrafas de gás comprimido mais usuais.

[7] O politetrafluoretileno (PTFE) é um polímero sintético.

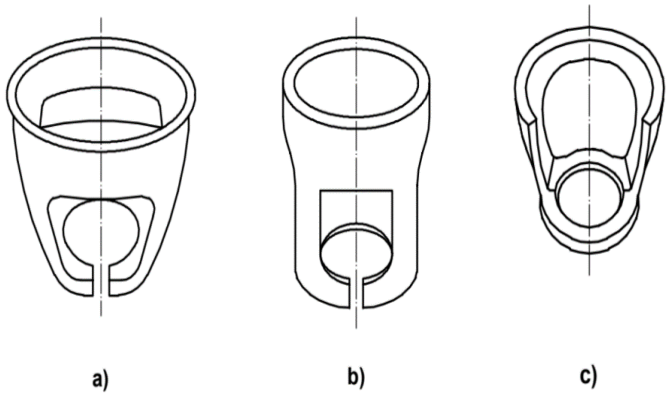


Figura 2.8: Exemplos de capacetes de garrafas de gás comprimido (adaptada de [33]).

2.1.5.6 Etiquetagem da garrafa de gás

A etiqueta é um elemento de extrema importância para a identificação de uma embalagem com um determinado produto no seu interior. É de notar que as etiquetas colocadas na parte superior da garrafa de gás, nomeadamente, na parte da ogiva, não devem sobrepor as gravações de identificação da mesma. A Norma ISO 7225, o ADR e regulamentos tais como o CLP [8], determinam a conceção das etiquetas de precaução, cuja colocação é obrigatória na montagem, manuseamento e transporte de uma embalagem de alta pressão.

Etiqueta banana

A etiqueta banana deve conter a designação comercial do produto, a informação relativa à empresa que comercializa o produto, o *n*° CE da substância, palavras de advertência, frases H/P[9], *n*° UN, informação para o transporte, nome e símbolo químico do gás e telefone de emergência.

Um exemplo de uma etiqueta banana é ilustrado na Figura 2.9.

Etiqueta de corpo Para alguns gases perigosos tais como o monóxido de carbono, o amoníaco ou certas misturas de gases, é necessário usar uma etiqueta de corpo que especifique as frases H/P que o utilizador do gás tem de ter conhecimento, bem como, por exemplo, a aplicação e o modo de utilização do gás. Para estes gases é obrigatório apresentar esta informação.

[8] Regulamento (CE) *n*° 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2008 , relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas, que altera e revoga as Directivas 67/548/CEE e 1999/45/CE, e altera o Regulamento (CE) *n*° 1907/2006 (*CLP Regulation*), garante que os perigos apresentados por produtos químicos sejam claramente comunicados aos trabalhadores e consumidores por meio da classificação e rotulagem de produtos químicos.

[9] As frases H referem-se às que aludem à "Advertências de Perigo" e as frases P as que dizem respeito às "Recomendações de Prudência", estão disponíveis em https://ec.europa.eu/.

Figura 2.9: Exemplo de etiqueta banana (digitalização de etiqueta da Air Liquide).

Por outro lado, os quadros de garrafas também contêm uma etiqueta de corpo que vem apresentada na superfície exposta da embalagem. Neste caso, existe a possibilidade de colocar uma etiqueta banana numa das garrafas, mas o modo de identificação do quadro contém uma etiqueta de corpo com essa informação.

Dois exemplos de etiquetas de corpo, o primeiro para um gás perigoso e o segundo uma etiqueta de corpo de quadro de garrafas, são ilustrados na Figura 2.10.

Figura 2.10: Exemplos de etiquetas de corpo: à esquerda: etiqueta de gás perigoso; à direita: etiqueta aplicada aos quadros de garrafas (digitalização de etiqueta da Air Liquide).

2.1.6 Enchimento de Garrafas de Gás Comprimido

O enchimento de uma embalagem de gás comprimido é uma etapa importante nos procedimentos que as empresas de gases têm a seu cargo. Esta etapa, é a mais recorrente e exige o cumprimento de determinadas regras regulamentadas por normas, decretos e diretivas quanto à sua correta execução.

Gás de serviço

Entende-se por gás de serviço o gás ou a mistura de gases que se encontra contido/a no interior da embalagem de gás a alta pressão.

Pressão de enchimento

Os gases e as suas misturas são armazenados em garrafas de gás comprimido porque têm a particularidade de ter uma massa especifica baixa [3].

Existem diversas formas de determinar a quantidade a armazenar [3]:

- Método Volumétrico, nomeadamente, através do cálculo de volumes;
- Método Manométrico, nomeadamente, através do cálculo de pressões;
- Método Gravimétrico, nomeadamente, através das massas (pesando numa báscula com sensibilidade apropriada).

Um dos maiores perigos no enchimento é a pressão exercida numa garrafa de gás. A empresa preza pelo cumprimento das regras de segurança de modo a não ocorrerem incidentes. Quando uma determinada pressão é exercida numa embalagem de gás através do aumento de partículas no seu interior, aumenta a entropia, ou seja, a pressão aumenta e, por conseguinte, a temperatura aumenta devido a se tratar de gases. É relevante que se respeitem as regras e que a pressão exercida nas embalagens seja inferior ao limite de pressão do projeto, sob risco de explosão da mesma [3].

As empresas de gases escolhem os melhores métodos a aplicar, consoante o tipo de gás considerado. Por exemplo, gases como oxigénio, azoto, árgon e hélio são gases que são cheios por pressão, contrariamente, a gases como o dióxido de carbono e o protóxido de azoto que são cheios a peso pois são gases liquefeitos.

Atualmente, existem sistemas automatizados que podem ser programados para os diversos tipos de gases e, assim, realizar um enchimento seguro e que cumpra com os diversos requisitos exigidos pelas normas nacionais e/ou internacionais. A quantidade de gás acondicionado em cada uma das embalagens é determinada em função da pressão de carga para os gases comprimidos e do grau de enchimento para os gases liquefeitos. O grau de enchimento define-se pelo peso máximo do produto (em kg), no estado gasoso,

que cada unidade de capacidade (em L) de uma garrafa pode conter para que, a 60°C, exista um certo volume da garrafa ocupado por gás [3].

Cada gás liquefeito possui o seu grau de enchimento autorizado e regulamentado por normas específicas. No caso dos gases liquefeitos é importante garantir que durante o enchimento, a pressão de teste da garrafa não é inferior à determinada por regulamento, pelo que existem períodos de ensaio de testes diferentes de acordo com a perigosidade do gás ou mistura de gases [3].

Por outro lado, as conexões criadas no momento do enchimento têm um papel fundamental para as práticas adotadas. Entende-se por conexão, o conjunto de instrumentos envolvidos na ligação da saída da válvula da garrafa de gás com os instrumentos de condução do gás, sob condição de completo isolamento quanto à atmosfera envolvente [17]. A conexão criada no enchimento compreende o conjunto do flexível com um conector que faz parte do sistema ligado à saída da válvula através de um nó de união que garante a perfeita união destas componentes [17]. A válvula deve resistir às oscilações de temperatura e pressão geradas no procedimento de enchimento [28].

2.1.7 Manutenção de Garrafas de Gás Comprimido

A manutenção da garrafa compreende dois tipos de intervenções na garrafa: reparação e/ou requalificação.

Requalificação

O ADR decreta a obrigatoriedade da requalificação de uma embalagem de alta pressão recarregável, sendo esta constituída pelo *testing* e pela inspeção periódica [15]. A requalificação depende do período que uma dada embalagem se manteve ao serviço com um determinado gás no seu interior, com validades diferentes para os diversos gases industriais ao serviço.

Está regulamentado no ADR que o organismo competente por efetuar as inspeções periódicas às garrafas de gases comprimidos deve efetuar a verificação da conformidade da documentação relativa à garrafa, efetuar inspeções e ensaios que verifiquem que as prescrições de aprovação são cumpridas, realizar relatórios relativos aos resultados das inspeções e dos ensaios e respetivos equipamentos auxiliares e garantir que as marcas requeridas são apostas [15].

A "Tabela P200" presente no ADR abrange as instruções de periodicidade de ensaios de teste, aplicadas a recipientes sob pressão, entre os quais, garrafas de gás e quadros de garrafas de gás [15], embalagens incluídas no estudo do projeto (ver Tabelas 2.7, 2.8 e 2.7).

Tabela 2.7: Periodicidade de ensaios a embalagens de alta pressão, de acordo com o gás ou mistura de gases (Parte 1/3) (adaptada de [15]).

Nome do gás ou da mistura de gases	Pertencente a	Nº UN	Código de classificação	Garrafa	Quadro de garrafas	Periodicidade dos ensaios (em anos)
Ar comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1002	1A	x	x	10
Árgon comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1006	1A	x	x	10
Monóxido de carbono comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1016	1TF	x	x	5
Hélio comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1046	1A	x	x	10
Hidrogénio comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1049	1F	x	x	10
Azoto comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1066	1A	x	x	10
Oxigénio comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1072	1O	x	x	10
Gás comprimido tóxico, inflamável, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1953	1TF	x	x	5
Gás comprimido inflamável, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1954	1F	x	x	10
Gás comprimido tóxico, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1955	1T	x	x	5

Nota: O código de classificação diz respeito à perigosidade do gás (ver esquema da Figura 2.4).

Tabela 2.8: Periodicidade de ensaios a embalagens de alta pressão, de acordo com o gás ou mistura de gases (Parte 2/3) (adaptada de [15]).

Nome do gás ou da mistura de gases	**Pertencente a**	**Nº UN**	**Código de classificação**	**Garrafa**	**Quadro de garrafas**	**Periodicidade dos ensaios (em anos)**
Gás comprimido, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1956	1A	x	x	10
Hidrocarbonetos gasosos em mistura comprimida, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1964	1F	x	x	10
Metano comprimido ou gás natural (de alto teor em metano) comprimido	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	1971	1F	x	x	10
Gás comprimido comburente, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	3156	1O	x	x	10
Gás comprimido tóxico, comburente, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	3303	1TO	x	x	5
Gás comprimido tóxico, corrosivo, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	3304	1TC	x	x	5
Gás comprimido tóxico, inflamável, corrosivo, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	3305	1TFC	x	x	5
Gás comprimido tóxico, comburente, corrosivo, N.S.A.	Quadro 1: GASES COMPRIMIDOS	3306	1TOC	x	x	5

Nota: O código de classificação diz respeito à perigosidade do gás (ver esquema da Figura 2.4).

Tabela 2.9: Periodicidade de ensaios a embalagens de alta pressão, de acordo com o gás ou mistura de gases (Parte 3/3) (adaptada de [15]).

Nome do gás ou da mistura de gases	**Pertencente a**	**Nº UN**	**Código de classificação**	**Garrafa**	**Quadro de garrafas**	**Periodicidade dos ensaios (em anos)**
Acetileno dissolvido	Quadro 2: GASES LIQUEFEITOS E GASES DISSOLVIDOS	1001	4F	x	-	10
Amoníaco anidro	Quadro 2: GASES LIQUEFEITOS E GASES DISSOLVIDOS	1005	2TC	x	x	5
Dióxido de carbono	Quadro 2: GASES LIQUEFEITOS E GASES DISSOLVIDOS	1013	2A	x	x	10
Protoxido de azoto	Quadro 2: GASES LIQUEFEITOS E GASES DISSOLVIDOS	1070	2O	x	x	10

Nota: O código de classificação diz respeito à perigosidade do gás (ver esquema da Figura 2.4).

Foram criadas algumas normas que fornecem orientação relativamente à execução da inspeção periódica e *testing*. Este processo de requalificação fica a cargo de entidades especializadas para este fim e aprovadas por entidades reguladoras que devem determinar se existem as condições necessárias à intervenção em embalagens de alta pressão e declaram a conformidade com base nas ferramentas e instalações vigentes. Por estas razões, e também por questões logísticas e de segurança, as empresas de gases possuem uma rede de centros de enchimento, centros de manutenção e centros logísticos, nos quais é necessário criar as condições ideais para poder executar os diferentes procedimentos, cumprindo com as normas em vigor, sejam estas internacionais, regionais ou europeias. Por outro lado, nos centros em si, pode haver uma seleção de acordo com a perigosidade dos diversos gases e suas misturas *versus* as ferramentas necessárias para os manusear.

As Normas ISO são igualmente aplicáveis à requalificação, sendo a ISO 18119:2018 a mais recente. De forma resumida, os procedimentos envolvem o desenvolvimento de atividades de inspeção e testes sujeitos às cláusulas inerentes [34]:

- identificação da garrafa e preparação da mesma para inspeção e testes;
- procedimentos de despressurização e remoção da válvula;
- inspeção visual externa;
- inspeção do gargalo da garrafa;
- verificar a condição interna;
- efetuar testes suplementares;
- reparar a garrafa, se necessário;
- proceder ao teste de pressão ou ao teste de ultrassons, se necessário;
- inspecionar a válvula e outros acessórios;
- substituir partes integrantes da garrafa de gás;
- proceder a operações finais;
- rejeitar a garrafa de gás a não continuar ao serviço, caso esta apresente defeitos ou falhas.

Cada um destes procedimentos é realizado tendo em consideração as normas que lhes dizem respeito e estas devem-se complementar entre si, de forma a cumprir com as prescrições vigentes pelas entidades reguladoras e relacionadas com a segurança do produto. Com especial atenção, a norma define a possibilidade de mutações entre garrafas com gases diferentes ao serviço, sob obrigatoriedade do cumprimento das indicações publicadas na Norma ISO 11621. As garrafas de hidrogénio apresentam a letra H e são

única e exclusivamente construídas para este gás que, devido à sua dimensão é conhecido por ser potencialmente perigoso para o material de construção da garrafa que o deve conter à pressão [34].

A norma define que garrafas que não permitem a visualização da sua superfície devem passar por um processo de tratamento da superfície de forma que sejam bem identificados seus os defeitos. Os defeitos, são exemplificados nesta norma, e podem ser um dos seguintes [34]:

- A instabilidade vertical;
- A integridade de acessórios permanentes como a gola ou a base postiça;
- A corrosão;
- Danos provocados pelo calor tais como chama acesa, entre outros;
- Amolgadelas, cortes, ranhuras, protuberâncias, rachaduras, laminações ou desgaste excessivo da base.

Esta norma recomenda que as roscas da garrafa sejam inspecionadas visualmente quanto a danos e limpas [34]. Adicionalmente podem ser verificadas quanto à conformidade através de um medidor de rosca [34]. As ranhuras são potencialmente recorrentes no final da rosca e têm percurso transversal ao longo da rosca [34].

Os tipos de *testing* mais comuns são (i) o teste de pressão hidráulica (*hydrotesting*) e (ii) o *testing* de ultrassons (UT) [34].

O *hydrotesting*, ou prova hidráulica, requer uma inspeção visual interna que deve satisfazer as exigências de verificação da integridade da garrafa de gás, antes e após a prova de esforço [34]. Este consiste no enchimento da garrafa com água até uma pressão equivalente a 1,5 vezes a pressão de serviço da garrafa de gás e posterior esvaziamento da mesma através da inversão da mesma [34]. É requerido o menor tempo possível de contacto entre o material constituinte da garrafa e a água do *hydrotesting* e o processo de secagem interna, para evitar fenómenos de corrosão [34].

O UT não necessita de uma inspeção interna pois trata-se inclusive de uma técnica de inspeção à garrafa [34]. As garrafas testadas por UT, podem ser garrafas sob pressão pelo que existe uma perigosidade acrescida relativamente ao seu manuseamento [34]. O teste decorre através de um equipamento de deteção de falhas que deve percorrer a parte cilíndrica da garrafa, desde a zona do início do corpo até à base [34]. O fundo, a ogiva e o gargalo da garrafa devem ser analisados através de uma examinação suplementar [34]. Os operadores que são responsáveis por efetuar este teste devem ser altamente qualificados para a análise dos resultados explícitos nos gráficos que dele derivam [34]. O UT faz parte de um conjunto de testes não destrutivos (NDT), que são alternativas ao *hydrotesting*. Outro teste conhecido é o *testing* de emissão acústica (AET). Informações relativas ao *modus operandi* destes dois tipos de *testing* podem ser encontradas na Norma ISO 19016. Os

benefícios e as limitações dos métodos UT e AET quando comparados com o *hydrotesting* e inspeção periódica visual consequente são os que se seguem [35]:

- Melhor identificação de defeitos que se propaguem longitudinalmente na superfície interna da garrafa;
- A laminação interna da garrafa, diferenças significativas na espessura da parede e outros defeitos relacionados, por exemplo, com pingos de solda, podem não ser identificados pela inspeção visual, mas são expressas nos NDT mencionados;
- A humidade que permanece no interior da garrafa após o processo de requalificação da garrafa é causa suficiente para a falha de garrafas ao serviço de gases corrosivos;
- Gases usados nas industrias eletrónica e em misturas de calibração devem ser incluidos em garrafas muito bem tratadas no que se refere à contaminação, pelo que os métodos UT e AET asseguram a estirilidade do interior da garrafa no momento da requalificação;
- Por ter propriedades coligativas e de adsorção, é difícil de eliminar a 100% a humidade contida no interior da garrafa, principalmente nas possíveis irregularidades da garrafa;
- Na manutenção de garrafas ao serviço de gases tóxicos, é necessário garantir uma purga segura, de modo que no momento da inspeção, não hajam resíduos de gás na garrafa;

Apesar dos UT e AET serem métodos recomendados, requerem um elevado investimento e são processos morosos e que implicam a qualificação dos profissionais que executam a inspeção.

A garrafa que não seja aprovada no *testing* deve ser rejeitada e posteriormente registada como inutilizada, com as causas de rejeição acopladas [34].

Depois da garrafa se encontrar seca e inspecionada de forma visual ou por ultrassons, deve-se montar a válvula e esta ser sujeita a processos de acabamento de superfície externa. Caso a pintura externa implique a imposição de aquecimento, terá de se verificar qual a integridade da válvula se sujeita ao mesmo e se esta for afetada, proceder aos processos de pintura sem a válvula colocada [34]. A pintura ou revestimentos não podem tornar ilegível as gravações da garrafa [34].

A montagem dos acessórios, tais como o capacete, e a etiquetagem são efetuadas como etapas de acabamento final [34].

2.2 Air Liquide Iberia (ALI) e representação do site CMD

Numa perspetiva organizacional do grupo Air Liquide, existe uma subdivisão de mercados europeus, em particular, a nível ibérico, formando a denominada Air Liquide Ibéria (ALI). A ALI é composta pela Air Liquide Portugal (ALP), pela Air Liquide Espanha (ALE) e pela Air Liquide Medicinal (ALM).

Em território ibérico, as embalagens de alta pressão são comercializadas e distribuídas com base na logística regional que existe no grupo. Os 20 centros ibéricos pertencentes ao grupo, 7 em Portugal e 13 em Espanha, que operam nesta região europeia, efetuam transações logísticas entre si de modo a minimizar as deslocações desnecessárias para o exterior da região. A disponibilidade de produtos da ALI é averiguada nos seus centros, sendo que a sua organização tem, para além de uma estratégia organizacional, uma estratégia comercial. Neste sentido, existem centros logísticos, centros de enchimento e centros de manutenção. No que concerne às condições necessárias aos procedimentos envolvidos no enchimento e na manutenção de embalagens de alta pressão de todos os tipos de gases comprimidos, existe também uma organização logística do grupo, na medida em que a operação de determinados centros deve ser apenas canalizada para gases de determinada perigosidade.

Em termos logísticos, os parques de embalagens AL podem ter ao seu dispor:

- Propriedade da ALP;
- Propriedade da ALE;
- Propriedade da ALM;
- Propriedade dos distribuidores;
- Propriedade dos clientes diretos (pouco significativa).

A ALP, a ALE e a ALM são subdivisões da ALI. Das diversas possibilidades de gestão por parte da ALI, as embalagens que chegam vazias aos centros podem-se apresentar na seguinte situação:

- Garrafas/Quadros novas(os), que irão entrar ao serviço;
- Garrafas/Quadros para Enchimento com o mesmo gás de serviço (por norma, para o mesmo cliente);
- Garrafas/Quadros para reparação pela primeira vez;
- Garrafas/Quadros para requalificação pela primeira vez, por atingirem a periodicidade dos ensaios de requalificação;
- Garrafas/Quadros reparadas(os), pelo menos uma vez, e que se encontram ao serviço;

- Garrafas/Quadros requalificadas(os), pelo menos uma vez por terem atingido a periodicidade dos ensaios de requalificação, e que se encontram ao serviço.

Estas embalagens podem conter (ou ter contido) gases que, essencialmente, se categorizam para a ALI de acordo com quatro níveis de perigosidade:

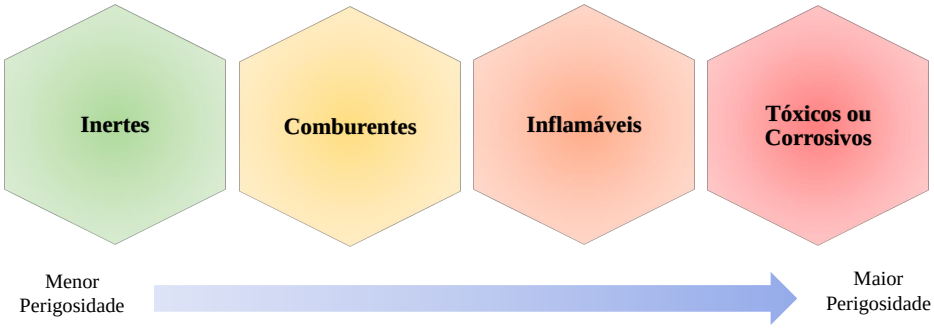


Figura 2.11: Perigosidade dos produtos tratados no *site* CMD.

Os gases comburentes, têm maior capacidade do que o ar para manter uma combustão e esta capacidade depende da quantidade de O_2 libertado e da pressão a que se encontram. Por outro lado, os gases tóxicos, definem-se pela concentração média admissível à qual um ser humano consegue estar exposto a este gás, podendo ser também inflamáveis. Finalmente, os gases corrosivos, têm uma capacidade destrutiva do gás por ataque químico a uma superfície, sendo que presença da humidade pode tornar um gás mais corrosivo (gases anídricos).

Tanto os procedimentos de enchimento como os de manutenção, podem ser executados, num ambiente interno, isto é, nos centros de manutenção e enchimento AL, ou num ambiente externo, ou seja, em serviços externos. Os serviços externos são prestados por empresas ou centros subcontratados pela AL e apresentam qualificações exigidas para as operações que prestam.

Em particular, a manutenção AL compete aos centros de manutenção (prova interna) e a serviços externos (provas externas). Num contexto ibérico, existem 3 centros que estão aprovados para executar atividades de requalificação de embalagens de alta pressão, em concreto, para realização do *testing*: um centro interno ao grupo, o site CMD em Arruda dos Vinhos; dois centros externos ao grupo. O centro de manutenção interno segue-se pelas indicações e aprovações realizadas pelas entidades reguladoras ISQ (Instituto de

Soldadura e Qualidade) e Apragaz. É importante referir que um dos objetivos da empresa consiste em aumentar a internalização, o que se veio a efetivar nos últimos anos.

Existem 3 níveis de transporte de embalagens:

1. Primário: Transações logísticas entre centros;
2. Secundário: Vendas AL (aos distribuidores e aos clientes diretos);
3. Terciário: Transporte dos distribuidores aos clientes finais.

Os primeiros dois níveis de transporte são assegurados pela gestão da AL. Os centros de manutenção e os centros de enchimento recebem e preparam e encaminham embalagens (stock "vazios" (SV) ou stock "cheios" (SC)) de acordo com o esquema da Figura 2.12 abaixo apresentado. Os serviços de manutenção e de enchimento podem ser efetuados em centros internos à ALI ou através de serviços prestados por subcontratados, em centros externos e devidamente qualificados. É de notar que os centros logísticos efetuam transações de embalagens para SV ou SC, estão implicitamente incluídos nestas transações e são representados por ALP, ALE e ALM.

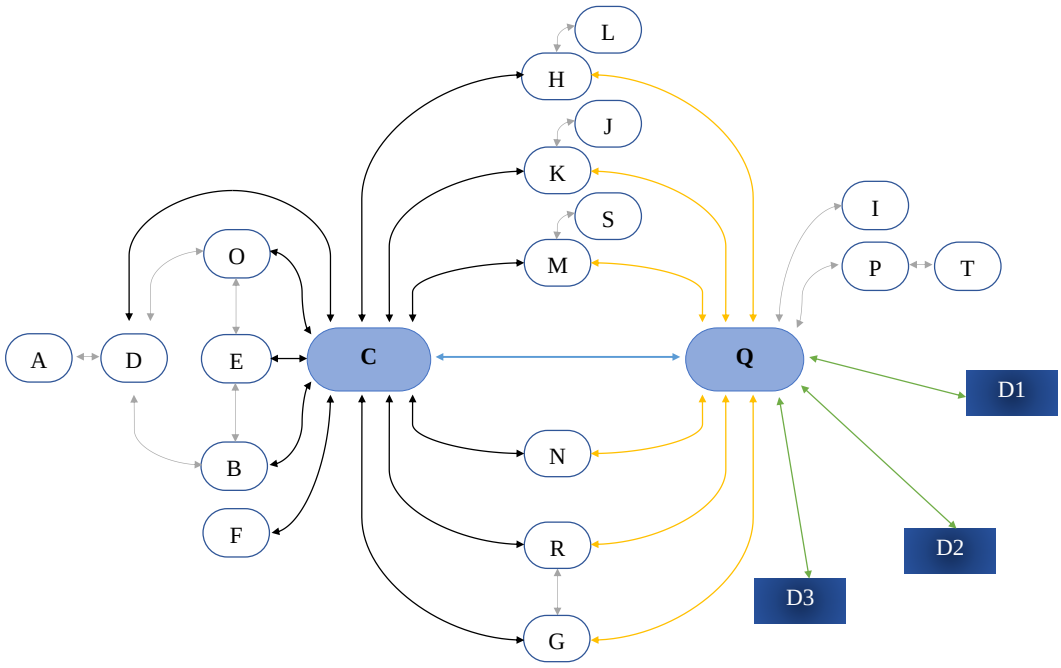


Figura 2.12: Transações Logísticas no subgrupo ALI.

No que se refere ao nível de transporte primário e para que se perceba a dimensão das transações logísticas da ALI, em particular, entre os centros logísticos, de enchimento e de manutenção, o esquema da Figura 2.13 representa a sua expressão no grupo, sendo que as setas indicam tanto transações para SV como para SC.

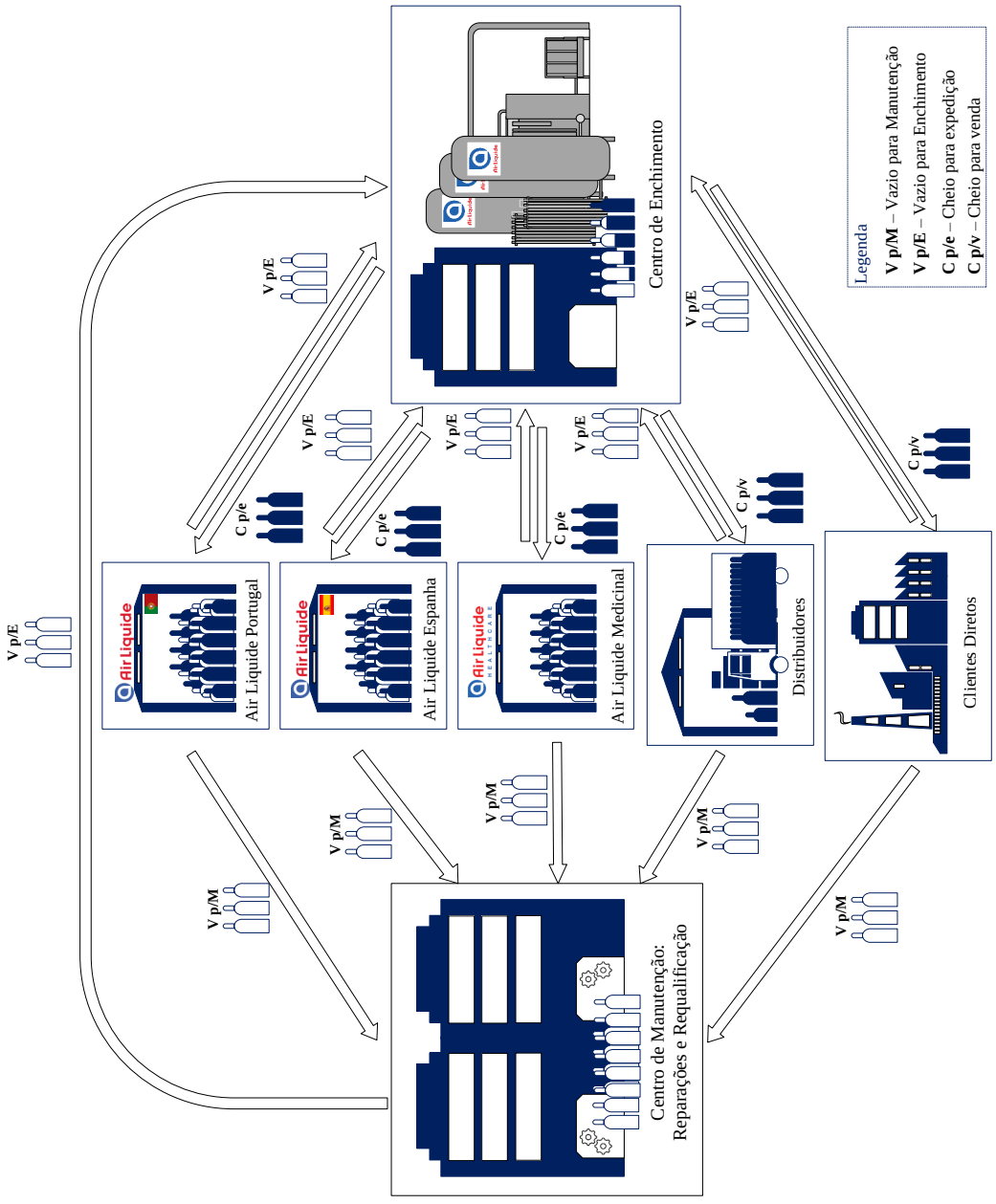


Figura 2.13: Transações de SC e SV entre centros AL.

Através da análise do esquema da Figura 2.12, é possível extrair que os centros com maior relevância na ALI, em termos de receção e expedição de embalagens de alta pressão são o CMD, em Arruda dos Vinhos, Portugal (representado pela letra C) e o Centro Logístico de Villaverde, em Madrid, Espanha (representado pela letra Q).

Existem centros cuja localização é a mesma, mas como a sua índole é diferente, são identificados por letras diferentes. É de referir que o CMD é pertencente a um conjunto de centros ALI, representados pelas letras C, D e F, os quais abrangem:

- Uma unidade de enchimento de embalagens de alta pressão;
- Uma unidade de produção de gelo seco;
- Um centro de conservação material de distribuição;
- Uma plataforma logística de gases industriais e medicinais.

Para além de se apresentar como um centro cuja importância na ALI é de destacar, o CMD desempenha funções de manutenção, tais como a reparação de embalagens e a requalificação e montagem de embalagens. Para o CMD são canalizadas todas as embalagens de gases neutros e comburentes que circulam em território ibérico e que necessitam de qualquer tipo de intervenção do género anteriormente mencionada. De entre os gases neutros e comburentes, pode-se considerar todos os gases no estado individual ou todas as misturas de gases que tenham na sua composição química os gases do ar e os gases nobres. Estes gases são os que têm maior saída comercial e que são mais distribuídos para as indústrias. A partir disto, conclui-se que, a nível legal e comercial, o CMD é de extrema importância para que a periodicidade das provas seja cumprida de acordo com o definido no ADR (ver Tabelas 2.7, 2.8 e 2.7).

Existem duas razões que levam a que uma garrafa necessite da intervenção do CMD:

- A avaria, o desgaste ou a necessidade de retoque de embalagens;
- O término do ciclo de serviço e a necessidade do cumprimento da periodicidade do *testing* e da inspeção periódica à embalagem.

O *site* CMD está construído de acordo com o esquema de *layout* ilustrado no Apêndice A. Os processos que estão incluídos no CMD são maioritariamente manuais, sendo que está a começar a ser introduzida automatização nos processos atuais.

As embalagens de alta pressão que são intervencionadas no *site* CMD seguem diversos percursos consoante: a necessidade de manutenção (reparação ou requalificação), o tipo de embalagem, o material de construção da embalagem e o mercado de destino final.

Em detalhe, a requalificação de embalagens segue os circuitos de manutenção identificados no esquema da Figura A.1, presente no Apêndice A, assinalado com uma linha vermelha tracejada.

Em concreto, o circuito completo das atividades executadas no *site* CMD é o seguinte:

1. Triagem das Embalagens;
2. Inspeção Visual Externa;
3. Processos de Reparação (se necessário);
4. Remoção da Válvula, ou (em quadros de garrafas) remoção da serpentina de união dos fluxos das garrafas de gás incorporada com respetiva válvula do quadro;
5. Escovagem da garrafa (superfície da ogiva para as garrafas de aço e toda a superfície para as garrafas de liga de alumínio);
6. Processo de *Testing* e Gravação da Data de Prova;
7. Processo de Secagem e Registo de Garrafas;
8. Processo de Decapagem na cadeia aérea automática;
9. Processos de Pintura de Corpo e da Ogiva na cadeia aérea automática;
10. Processos de Pintura de forma manual;
11. Montagem da Válvula, ou (em quadros de garrafas) montagem da serpentida de união dos fluxos das garrafas de gás incorporada com respetiva válvula do quadro;
12. Etapas de acabamento final (Montagem o Capacete e Etiquetagem para as garrafas e Etiquetagem dos quadros de garrafas).

Conforme o tipo de embalagem a ser tratada no CMD, podem-se definir diferentes circuitos (ver Tabela 2.10).

Os processos de manutenção incluídos no CMD são maioritariamente manuais, havendo alguns que incluem procedimentos automáticos.

É possível encontrar um fluxograma do circuito, Figura A.2 **??**, presente no Apêndice A.

Tabela 2.10: Possibilidades de circuitos consoante o tipo de embalagem a ser preparada.

		Etapa do Circuito						
Tipo de Manutenção	Tipo de Embalagem	1 e 2	3	4 e 5	6 e 7	8 e 9	10	11 e 12
Reparação	Quadro	S	S	S/N	N	S/N	S/N	S/N
	Garrafa de Aço	S	S	S/N	N	S/N	S/N	S/N
	Garrafa de Liga de Alumínio	S	S	S/N	N	N	S/N	S/N
Requalificação	Quadro	S	N	S	S	S	S/N	S
	Garrafa de Aço	S	N	S	S	S	S/N	S
	Garrafa de Liga de Alumínio	S	N	S	S	N	S/N	S
Primeira Preparação	Quadro	N	N	S/N	N	S	S/N	S
	Garrafa de Aço	N	N	S/N	N	S	S/N	S
	Garrafa de Liga de Alumínio	N	N	S/N	N	N	S	S

[1)] S = Sim.
[2)] N = Não.
[3)] S/N = Sim/Não.

2.3 Processo de Secagem

A secagem consiste na combinação eficiente entre a transferência de massa e transferência de calor.

Hoje em dia, a secagem de componentes continua a ser um método recorrente nas empresas que os preparam a fim de preservá-los [36]. A degradação dos materiais é uma das maiores causas que leva a que as indústrias necessitem de incluir processos de secagem nas suas atividades, uma vez que estes asseguram a abstinência de água. A água é um contaminante que permite que reações ocorram entre o material constituinte do componente e outras matérias, sendo que, pode ainda desenvolver microrganismos que provocam a deterioração gradual do componente [36].

Com uma lógica de custo-benefício, cada vez é mais comum para as indústrias realizar processos que, para além de permitirem atingir um determinado objetivo, permitem atingir outros, *i.e.*, de forma eficiente incluir diversas etapas de preparação numa só acaba por ser economicamente rentável. Um típico exemplo consiste nos processos de cura de tinta envolvidos no fabrico de peças metálicas. Neste caso, o forno onde ocorre a cura, serve igualmente de ambiente de descontaminação da componente, que pode, de um modo vantajoso, favorecer a evaporação da água presente na superfície exposta ao calor e permitir que a peça não contenha humidade.

Para que a evaporação possa ocorrer, é necessário que o calor latente de vaporização[10] seja incluído no processo de secagem [36]. No entanto, é importante referir que a secagem não ocorre simplesmente quando o calor latente de vaporização da água é atingido; é igualmente possível efetuar a secagem de um componente através da imposição de entropia nas das moléculas de água que se encontram sobre uma determinada superfície [36]. Isto pode ser possível através da criação de um gradiente de massa, ou seja, simplesmente incluindo uma corrente de gás não saturado com água, de forma que haja uma força motriz que impulsione o sentido de remoção de água da superfície a secar. Quanto maior a velocidade de fluxo do gás encarregue de secar a componente e mais seco este gás se encontra, mais rápida será a secagem. É importante relembrar que, apesar do fenómeno de secagem se dar por inclusão de fluxos de um gás não saturado em água, é de largo interesse em e termos de custo-benefício para a empresa, aumentar a transferência de massa através do aumento da transferência de calor entre dois fluidos que possam estar em contacto num determinado sistema, para que o processo não se torne no *bottleneck* do circuito de preparação do componente.

[10] Calor latente de vaporização [36]: Quantidade de energia térmica necessária adicionar à água líquida para evaporar 1kg.

2.3.1 Humidade e conceitos básicos

A humidade consiste num termo frequentemente usado nos processos de secagem. Esta, ocorre numa mistura gás-vapor na qual a água esteja envolvida e pode ser expressa em massa de vapor de água existente numa unidade de massa de ar seco (kg_{H_2O}/kg_{arseco}). Conhecida por humidade pode ser apreentada em termos absolutos ou em percentagem, ou seja, a razão entre a pressão parcial de vapor da água e a pressão de vapor de equilíbrio àquela temperatura [37].

2.3.1.1 Água e os seus estados físicos

A partir do diagrama de fases da água (ver Figura 2.14), é possível selecionar as condições de temperatura e pressão da mesma e determinar qual o estado físico em que esta se encontra (sólido, líquido ou gasoso). É importante perceber que a determinadas condições, a água pode-se encontrar em dois ou, possivelmente, três estados físicos. As linhas indicam as condições em que a água está em dois estados físicos (sólido-líquido, líquido-gasoso ou sólido-gasoso). O ponto de união das três linhas, denominado por ponto triplo, indica as condições à qual a água se encontra nos três estados físicos.

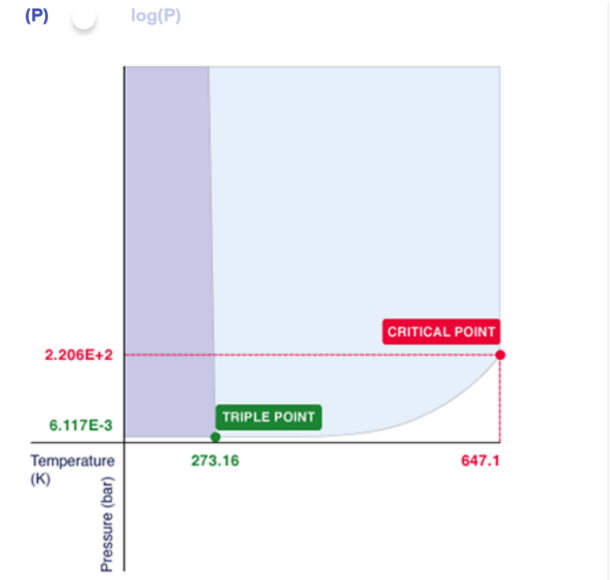


Figura 2.14: Diagrama de fases da água (diagrama disponível em [6]).

Através do diagrama, é possível perceber que, se a temperatura aumenta a uma pressão constante, existe um movimento horizontal no sentido da esquerda para a direita e à medida que se vai caminhando, vão havendo alterações de estado físico (exceto a baixas pressões). Analogamente, à medida que a pressão aumenta, existe um movimento vertical ascendente e ocorrem alterações de estado (exceto a elevadas temperaturas).

O tipo de secagem que se pretende abordar neste projeto ocorre após a passagem do estado líquido para o estado gasoso, ao longo da linha que separa estes dois estados físicos, representada no diagrama de fases, pela linha de equilíbrio líquido-vapor. A pressão de

vapor define-se pela medição da tendência que as moléculas de água presentes na fase líquida têm em passar para a fase gasosa [36]. Quando a pressão de vapor da água é igual à pressão total na superfície de água, ocorre a evaporação [36].

2.3.1.2 Psicrometria

Antes que um determinado processo de secagem possa começar, é necessário aquecer o componente molhado até a uma temperatura que permita que o líquido contido no mesmo exceda a pressão parcial do vapor presente na atmosfera envolvente.

A psicrometria consiste na ciência que estuda a relação entre o ar e a água que este pode conter [36].

A carta psicrométrica consiste num gráfico que relaciona a humidade com a temperatura. A carta psicrométrica é muito útil e constitui uma importante ferramenta para estudos que envolvam processos de transferência de massa tais como a secagem de um componente.

No Anexo I encontram-se as duas cartas psicrométricas: 1) para o intervalo de temperaturas -10ºC a 40ºC; 2) para o intervalo de temperaturas 20ºC a 110ºC.

A fim de perceber a sua utilidade, é necessário conhecer determinados conceitos, entre os quais: as humidades absoluta e relativa e calor latente de vaporização (definidos nesta secção), pressão parcial, pressão total, calor específico e coeficiente de transferência de calor e temperatura de termómetro húmido e seco.

A temperatura de termómetro humido corresponde, no caso do sistema binário, ar-água, à temperatura de saturação adiabática, *i.e.*, no equilíbrio entre a temperatura do gás atingida pelo gás insaturado e o liquido vaporizado sobre condições adiabáticas[37].

Na carta psicrométrica, é possível identificar a curva de saturação que indica o peso máximo de vapor de água que pode ser contido numa unidade de peso de ar seco. Ao selecionar uma determinada temperatura, ou temperatura de termómetro húmido, e caminhando até às linhas de humidade absoluta, estas são dadas por:

$$\mathscr{H}\ (\frac{kg_{H_2O}}{kg_{arseco}}) \ = \ \frac{p(kPa)}{P(kPa) - p(kPa)} \ \times \ \frac{M_v(g/mol)}{M_g(g/mol)} \tag{2.3}$$

Onde, p é a pressão parcial no gás, P é a pressão total do sistema e M_v/M_g consiste no rácio entre as massas moleculares do vapor pelo gás seco. Por sua vez, as linhas de humidade relativa são dadas pela equação 2.4:

$$\mathscr{H}_{rel}(\%) \ = \ \frac{p(kPa)}{p_s(kPa)} \ \times \ 100\% \tag{2.4}$$

Onde, p_s corresponde à pressão de vapor da água à temperatura considerada. A humidade relativa indica o quão próximo um determinado sistema se encontra da saturação. Diz-se que o ar está saturado quando, a uma dada temperatura e a uma dada pressão, não pode conter mais vapor de água, sem que a água adicionada tenha a tendência de condensar em forma de gotas de água[36].

As linhas de volume húmido, em m^3/kg_{arseco} indicam o volume de 1 kg de gás seco com a adição do volume de vapor que este contém. Para este sistema ar-água, as linhas diagonais de temperatura de termómetro húmido podem ser aproximadas às linhas de arrefecimento adiabático (isolado das trocas de calor) a entalpia constante através da seguinte equação:

$$\mathscr{H}\left(\frac{kg_{H_2O}}{kg_{arseco}}\right) - \mathscr{H}_s\left(\frac{kg_{H_2O}}{kg_{arseco}}\right) = -\frac{C_s(kJ/kg.K)}{L_s(kJ/kg)} \times (T(K) - T_s(K)) \tag{2.5}$$

Onde, $\mathscr{H}_s$ corresponde à humidade de saturação, $(-C_s/L_s)$ à linha de arrefecimento adiabático a entalpia constante (com C_s como o calor húmido para a humidade $\mathscr{H}$ e L_s como o calor latente de vaporização para a T_s) e T_s a temperatura adiabática de saturação.

O calor húmido da mistura gás-vapor é dado por:

$$C_s\left(\frac{kJ}{kg.K}\right) = c_{pg}\left(\frac{kJ}{kg.K}\right) + c_{pv}\left(\frac{kJ}{kg.K}\right) \times \mathscr{H}\left(\frac{kg_{H_2O}}{kg_{arseco}}\right) \tag{2.6}$$

Onde, c_{pg} consiste no calor específico do gás seco (ar) e o c_{pv} consiste no calor específico do vapor (água).

Nas condições de estado estacionário, a equação 2.7 é válida quando apenas está envolvida a convecção:

$$h_c\left(\frac{kW}{m^2.K}\right) \times (T(K) - T_s(K)) = -K\left(\frac{kg}{s.m^2}.\frac{kg}{kg}\right) \times L_s\left(\frac{kJ}{kg}\right) \times \left(\mathscr{H}\left(\frac{kg_{H_2O}}{kg_{arseco}}\right) - \mathscr{H}_s\left(\frac{kg_{H_2O}}{kg_{arseco}}\right)\right) \tag{2.7}$$

Onde, h_c consiste no coeficiente de transferência de calor por convecção, T na temperatura de termómetro seco, t_s na temperatura de termómetro húmido, κ no coeficiente transferência de massa, L_s no calor latente de vaporização à T_s, $\mathscr{H}$ na humidade à T e $\mathscr{H}_s$ na humidade de saturação à T_s. Como se trata de um sistema ar-água, $h_c/\kappa \simeq C_s$ e, portanto, pode-se dizer que T_s é aproximadamente T_s, o que comprova a premissa mencionada para este sistema.

2.3.2 Mecanismos de secagem

2.3.2.1 Transferência de Calor

Quando as moléculas contêm uma maior carga de energia interna, ou energia térmica, *i.e.*, têm uma temperatura mais elevada, existe a tendência de transferir parte da sua energia às moléculas que se encontram ao seu redor com energia interna mais baixa (ou energia térmica menor). O calor consiste no fluxo de energia que ocorre devido a um gradiente de temperaturas criado entre matérias [38].

A condução, a convecção e a radiação são as três forças motrizes fundamentais que definem a transferência de calor [29]. Neste projeto, abordam-se a condução e a convecção.

No fenómeno de evaporação da água, todos os mecanismos de transferência de calor anteriormente mencionados podem participar, no entanto, por norma, existe uma força

motriz que predomina o processo, variando a influencia que cada um tem e há sempre um deles que acaba por permitir que a secagem ocorra [36].

Condução

A condução consiste na transferência de energia vibracional de uma parte de um corpo para outra parte do mesmo corpo, ou entre dois corpos em contacto um com o outro, sem deslocação apreciável das partículas dos corpos [29]. Deste modo, pode-se concluir que esta forma de permutar calor entre corpos (sólidos, líquidos ou gases) se dá através do transporte molecular.

Existem duas propriedades que definem a condução de calor: a condutividade térmica (κ) e a difusividade térmica (D) [38].

É importante referir que materiais homogéneos e isotrópicos, *i.e.*, que não alteram as suas propriedades físicas consoante a direção da medição, são materiais que já atingiram o seu estado estacionário. Neste caso, considera-se a condutividade térmica, uma vez que a sua temperatura não varia com o tempo e ocorreu equilíbrio de calor. Apesar disto, sabe-se que, para que um material possa atingir o seu estado estacionário e transmitir o mesmo fluxo de energia de forma contínua e contante no tempo, este terá de passar por um processo gradual de uniformização, na qual, existem incongruências nas propriedades físicas consoante o local de medição e o tempo desde o qual foi introduzida uma perturbação no sistema. Este fenómeno é medido através de duas propriedades: a difusividade térmica e a efusividade térmica (e) [38].

No que se refere a um material isolado termicamente, a quantidade de energia que se tem de adicionar a uma unidade de massa para produzir uma variação ascendente de uma unidade de temperatura é dada pela seguinte equação [38]:

$$dQ\ (J) = m\ (kg) \times C_p\ (\frac{J}{kg.K}) \times dT\ (K) \tag{2.8}$$

Na qual, dQ é a quantidade de transferência de calor ocorrida, m consiste na massa do corpo, C_p na capacidade de calor específica do corpo e dT a variação de temperatura produzida no corpo. Esta equação define a capacidade que um dado material tem de conter energia térmica na sua massa total [38] e é fundamental o seu conhecimento quando se tratam de processos de transferência de calor.

No que concerne a um gradiente de temperaturas criado num dado material, no qual um fluxo de calor é conduzido de forma homogénea e isotrópica, este é dado pela Lei de Fourier descrita pela equação 2.9 [29].

$$\frac{dQ_{cond}}{d\theta} = -\kappa.A.\frac{dT}{dx} \tag{2.9}$$

Onde, κ consiste na condutividade térmica do corpo, A na sua área e $\frac{dT}{dx}$ no gradiente de temperaturas gerado [29].

Quando a transferência de calor atinge um estado de equilíbrio no fluxo de calor unidimensional e não existe geração de energia, $\frac{dQ}{d\theta}$ torna-se constante, podendo ser apenas representado pela letra q e a Lei de Fourier ganha o seguinte formato [29]:

$$q_{cond} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{A} = - \int_{T_1}^{T_2} \kappa dT \tag{2.10}$$

Como exemplo de um bom condutor tem-se um metal conhecido como o cobre que consegue extrair a máxima energia térmica de um corpo quente com o qual possa estar em contacto. Por sua vez, os gases são maus condutores de calor [39].

Em particular, no que se refere a coordenadas cilíndricas, por exemplo, consideradas numa tubagem, o fluxo de calor é dado por[40]:

$$q_{cond} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{A} = - \int_{T_1}^{T_2} \kappa dT \tag{2.11}$$

i.e.,

$$q_{cond} = \frac{\kappa.A.(T_1 - T_2)}{ln(\frac{R_2}{R_1})} \tag{2.12}$$

Onde, R_2 corresponde, por exemplo, ao raio externo da tubagem e R_1 ao raio interno e A à área de secção reta da tubagem.

Por outro lado, o fenómeno físico de velocidade associada à variação da propagação de calor ao longo do tempo é denominado por difusividade térmica [38].

Um bom difusor de calor, colocado em contacto com um corpo com uma temperatura mais elevada no tempo t=0, atinge mais rapidamente o seu equilíbrio térmico que um mau difusor de calor [38].

Existem diversas associações grosseiras no que se refere à definição de um bom difusor térmico. É necessário fortalecer o conceito de que um dado material é um bom difusor térmico se este atinge o equilíbrio térmico mais rapidamente quando colocado em contacto com um corpo mais quente ou mais frio, e não um bom condutor térmico [38]. Por vezes, esta associação decorre erradamente do facto de que, por norma, os sólidos e os líquidos, são bons/maus condutores térmicos e bons/maus difusores térmicos [38].

Apesar disso, é possível relacionar ambas as propriedades através da seguinte equação [38]:

$$D(m^2/s) = \frac{\kappa\ (\frac{W}{m.K})}{\rho(\frac{kg}{m^3}).C_p(\frac{J}{kg.K})} \tag{2.13}$$

Na qual, D corresponde à difusividade térmica, κ à condutividade térmica, ρ à massa específica e C_p à capacidade de calor específica.

O rácio κ/D é praticamente constante para matéria condensada (sólidos e líquidos) [38]. É importante referir que nem sempre esta equação é exata e que por vezes não se verifica a sua aplicação a algumas matérias. Um metal pode ser bom condutor e não

ser tão bom difusor (por exemplo, o níquel) ou vice-versa (por exemplo, o chumbo) [38]. Este fenómeno ocorre particularmente com gases nas condições atmosféricas (20ºC e 1 atm) que são maus condutores e excelentes difusores térmicos (por exemplo, o hélio) [38]. Isto faz todo o sentido, pois quando colocamos uma fonte de calor perto de um gás, por exemplo, o ar atmosférico, o fluxo de energia não é conduzido no gás, mas sim adsorvido e rapidamente difundido [38]. Os gases possuem um comportamento muito característico no que se refere à temperatura. Por isso, a baixas pressões os mesmos comportam-se como gases ideais, seguindo a Lei dos Gases Perfeitos (equações 2.14 e 2.15) e, abaixo das 2 atm, têm condutividade térmica e calor específico constantes, independentemente da pressão a que são submetidos [38].

$$P.V = n.R.T \tag{2.14}$$

ou

$$P = \frac{\rho.R.T}{M} \tag{2.15}$$

i.e.,

$$\rho = \frac{P.M}{R.T} \tag{2.16}$$

Onde, P corresponde à pressão, V ao volume, n ao número de moles, R à constante dos gases perfeitos, T à temperatura, ρ à massa específica e M à massa molar do gás.

Se se deduzir a equação 2.13, obtém-se a equação 2.17, a qual define que quanto maior a pressão exercida num gás, mantendo a condutividade, menor a sua difusividade [38]. Pode-se relacionar com o facto de que com o aumento da pressão, a densidade aumenta, aumentando a entropia do sistema e gerando uma menor possibilidade das partículas se moverem livremente, diminuindo a sua difusividade térmica [38].

$$D = \frac{\kappa.R.T}{C_p.P.M} \tag{2.17}$$

A efusividade térmica mede o potencial de um dado material mudar de temperatura consoante o ambiente a que é submetido e é dada pela seguinte equação [38]:

$$e = \sqrt{\rho.\kappa.Cp} = \frac{\kappa}{\sqrt{D}} = \rho.Cp.\sqrt{D} \tag{2.18}$$

Neste caso, em contraste com um material que se encontra no estado estacionário, o fluxo de energia passado ao material dá-se através de efusividade térmica [38]. Esta é a razão que explica o porquê de quando se toca, por exemplo, com as mãos, em materiais diferentes colocados no mesmo ambiente, estes possuem uma energia térmica diferente, de acordo com as respetivas efusividades térmicas. Neste caso, se a efusividade do material é inferior à das mãos, as mesmas permanecem, aproximadamente, com a mesma temperatura e o material parece ter uma temperatura superior [38]. Isto contrasta com o comportamento de um material que possua uma efusividade maior do que a das mãos

e retira parte da sua temperatura, dando a sensação de que está a uma temperatura menor [38].

No caso de estados transientes, em que um material seja aquecido periodicamente, é criada uma cadência de ondas térmicas que se propagam sob o seu plano, refletindo e transmitindo calor na interface com outra matéria [38]. Assim, a efusividade térmica é o que permite determinar os coeficientes de reflexão e transmissão das ondas geradas por influência térmica, controlando o gradiente térmico que se dá entre as duas matérias [38].

Conceito de inércia térmica: A expressão que melhor define da inércia térmica em termos de causa-efeito é a dada por Ferrari et al: "a inércia térmica é a capacidade de um material armazenar calor e retardar a sua transmissão"[41].

Por vezes o conceito de energia térmica é, erradamente, confundido com o conceito de resistência térmica. A inércia térmica depende do nível de isolamento do material e consiste num estado transitório provocado pela repentina oscilação da temperatura, enquanto que, a resistência térmica consiste num fluxo de calor transmitido para o corpo e pode ser mensurada através de indicadores como a difusividade térmica[41].

Convecção

Ao mecanismo transferência de calor que ocorre de um fluido para o outro em maior volume e em deslocação, designa-se por convecção [39]. A existência de um fluido em movimento potencia a aceleração do processo de transferência de calor, no caso de o fluido de menor temperatura se encontrar em contacto direto com o fluido de maior temperatura. A convecção está, portanto, associada ao movimento macroscópico de um fluido (líquido ou gás), não ocorrendo em sólidos.

Por envolver a deslocação de um fluido, bem como a condução de calor, a transferência de calor por convecção é um processo complexo. Quanto maior a velocidade de deslocação do fluido, maior é a taxa de transferência de calor [39].

Expressa pela Lei de Newton, a taxa de transferência de calor é dada por [39]:

$$Q_{convec}(\frac{W}{m^2}) = h_c(\frac{W.K}{m^2}).(T_{sup} - T_\infty)(K) \tag{2.19}$$

i.e.,

$$q_{convec}(W) = h_c(\frac{W.K}{m^2}).A(m^2).(T_{sup} - T_\infty)(K) \tag{2.20}$$

Onde, o coeficiente de transferência de calor é h_c e é influenciado pela rugosidade da superfície de contacto, pelas propriedades do próprio fluido, como, por exemplo, a sua viscosidade, e pelo seu regime; A e T_{sup}, correspondem à área e à temperatura da superfície exposta; e T_∞ à temperatura do fluido convectivo [39].

A convecção pode ser natural ou forçada conforme o tipo de movimentos que o fluido realiza [29] e [39].

Convecção natural

Na convecção natural, a deslocação do fluido é o resultado das diferenças de densidade resultantes das diferenças de temperatura [29]. Qualquer deslocação que o fluido efetue é causada por fatores naturais, entre os quais, o efeito limite de fronteira, *i.e.*, a subida de um fluido com maior temperatura e a descida de um fluido com menor temperatura, o que se caracteriza por flutuações na temperatura [42]. Neste caso, uma alteração de densidade no seio do fluido, produz um movimento ascendente no fluido de maior temperatura [29].

Os movimentos proporcionados pelas correntes de convecção natural proporcionam uma deslocação do fluido com maior transferência de calor que a simples condução inerente a este fenómeno e que implica uma taxa de transferência muito menor [42].

Na convecção natural é importante que se considerem as forças gravitacionais que forçam um fluido mais denso a descer e um fluido mais leve a subir [42]. É possível exemplificar, com as correntes naturais de ar, geradas num determinado espaço, pelas quais o fluxo se desloca; aqui o fluxo de ar flui naturalmente, no entanto, o ar com impurezas tende a depositar-se mais junto ao solo, enquanto o ar com menos impurezas, tem tendência a circular naturalmente devido à baixa velocidade [42].

No caso da convecção natural ocorrer sobre uma superfície, a sua dinâmica depende da geometria e da orientação da superfície, bem como da temperatura da mesma e das propriedades do fluido que se desloca sobre esta [42].

Neste caso é gerada uma camada fronteira na qual a velocidade do fluido é nula [42]. É, portanto, uma região cujo estado do fluido se encontra é estacionário [42].

Convecção forçada

Na convecção forçada, a deslocação é produzida por agentes mecânicos externos [29]. Neste caso, o fluido acaba por ser forçado a fluir sob uma superfície plana ou na superfície de uma tubagem, por fatores externos tais como uma bomba ou um ventilador [39]. Quando a velocidade forçada é relativamente baixa, pode ser assumido que fatores de convecção natural, tais como as diferenças de densidade e temperatura podem ter uma influência importante na convecção [29].

A conhecida "**no-slip condition**", ocorre quando a dinâmica do fluido que se assume com convecção forçada, proporciona uma velocidade nula, perto da superfície do sólido sobre a qual o fluido se deverá deslocar [39]. Neste caso, cria-se um filme sobre a superfície cuja transferência de calor apenas ocorre por condução, uma vez que é como se se tratasse de uma camada fronteira adjacente à superfície, sem deslocação por convecção [39].

Devido à criação da camada estagnada à superfície do sólido, a velocidade do fluido que passa sobre a mesma não é negligenciada por efeitos de fricção e pode-se considerar que a mesma é praticamente constante. Apesar disso, na zona de estagnação, existe um fenómeno de fricção, criado por uma subcamada viscosa [39]. A viscosidade consiste na

resistência criada pelo fluido na deslocação do fluxo e é fortemente afetada pela temperatura [39].

O filme criado na superfície envolve três tipos de regimes. A camada fronteira começa com uma região na qual o fluxo se encontra sob regime laminar, passa por uma região de transição e finalmente torna-se turbulento [39]. A região na qual o fluxo se encontra sob regime turbulento, é igualmente caraterizada por três tipos de regimes: a subcamada laminar, a camada de amortecimento ("buffer layer") e a camada turbulenta [39].

Filme-fronteira: Quando existe uma convecção forçada em que um fluido se desloca sobre um sólido, junto à superfície do sólido existe uma tendência de se criar uma zona de estagnação do fluido que, geralmente, se denomina "filme" [29]. À medida que o fluido se aproxima da parede do corpo, o seu fluxo começa a ser cada vez menos turbulento e o que provoca o desenvolvimento de um comportamento laminar [29]. O filme consiste, portanto, no fluxo de fluido que se encontra junto à superfície de um determinado corpo e se desloca em comportamento laminar (subcamada laminar) e através da qual o calor é transferido por condução molecular [29]. A resistência criada por esta camada laminar ao calor pode ser muito variável dependendo do tipo de fluido que se encontra em deslocação sob a superfície do corpo [29]. O núcleo turbulento e a camada de amortecimento entre os regimes da subcamada laminar e do núcleo turbulento oferecem ambos resistências à transferência de energia [29]. Estas resistências dependem da turbulência e das propriedades do fluido em deslocação. A diferença de temperatura relativa ao redor de cada camada depende da sua resistência ao fluxo de calor [29].

2.3.2.2 Transferência de Massa

A transferência de massa que ocorre num processo de secagem é a transferência de água que ocorre entre a superfície da componente a ser seca e o componente que a envolve, neste caso, um gás ou o próprio ar atmosférico. A força motriz que permite que este fenómeno ocorra é a pressão parcial exercida ou a diferença de concentrações [36].

A velocidade a que a secagem se dá obedece às pressões de vapor da água, considerando o local onde o componente se encontra, *i.e.*, o meio envolvente, a temperatura da secagem e a quantidade de humidade mínima que esse mesmo componente pode conter [36].

O estudo do comportamento dos mecanismos que envolvem transferência de massa das fases de vapor e de líquido é uma etapa fundamental para qualquer operação que se pretenda realizar na secagem. Adicionalmente, é essencial, para o controlo de qualidade que uma determinada empresa tem, de forma a preparar um produto conforme os níveis de exigência dos mercados para o qual este irá servir.

Períodos de secagem

O perfil de secagem varia consoante diversos fatores impostos no sistema tais como a volatilidade do líquido, o material de construção e a regularidade da superfície a secar, as condições impostas, os mecanismos que ocorrem, etc. Apesar disso, existem fases da secagem que são transversais a qualquer tipo de processo, material ou condição. A secagem ocorre de acordo com a seguinte sequência [37]:

1. Período no qual o material aquece até à temperatura de secagem;
2. Período de taxa de secagem constante;
3. Período de decaimento da taxa de secagem, no qual a taxa de secagem é proporcional à humidade;
4. Período de decaimento da taxa de secagem, no qual a taxa de secagem, apesar de depender da humidade, não é simplesmente regida por esta.

O ponto de viragem entre o período de taxa de secagem constante e o período de decréscimo da taxa de secagem consiste no ponto de humidade crítico [37].

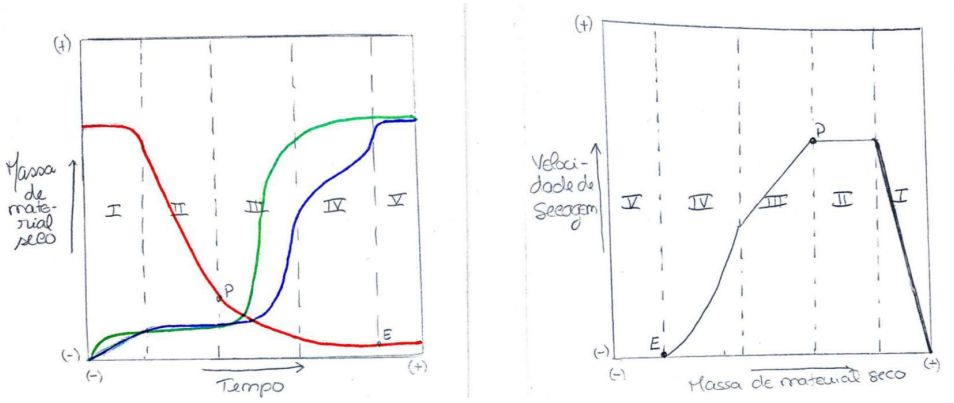


Figura 2.15: Curvas caraterísticas de secagem e relação entre a velocidade de secagem e a humidade de um material (adaptada de[43]).

Na Figura 2.15 pode-se visualizar o comportamento da secagem. No gráfico à esquerda, a massa de material seco, em função do tempo de secagem e no da direita a velocidade de secagem em função da massa de material seco. O intervalo I corresponde

ao período de aquecimento do material, II ao período de taxa de secagem constante, III e IV aos períodos de decaimento das taxas de secagem primeira e segunda parte, respetivamente, e V ao período de taxa de secagem em equilíbrio. A linha a vermelho corresponde ao conteúdo de humidade em peso seco, a verde à temperatura da superfície do material e a azul à temperatura no seio do material. As letras P e E correspondem aos conteúdos de humidade crítica e em equilíbrio, respetivamente. Consoante o processo de secagem, existem períodos que podem ser de maior ou menor duração.

Período de taxa de secagem constante: O período de taxa de secagem constante consiste, como o próprio nome indica, no intervalo no qual a taxa vaporização do líquido atinge uma estabilização [37].

Enquanto o líquido se mantém com composição e pressão de vapor constante, a vaporização a partir da sua superfície vai ocorrendo, sem que o material do componente tenha impacto nesta taxa de secagem [37]. A vaporização da fase líquida depende essencialmente da transferência de calor e, caso a secagem se dê, seguindo uma dinâmica de convecção forçada, a temperatura de estado estacionário equivale à temperatura de termómetro húmido do gás que está encarregue de recolher as partículas da superfície do componente [37].

Neste momento de estado estacionário da secagem, a relação entre as transferências de calor e de massa é apresentada na equação 2.21 [37].

$$-\frac{dw(kg)}{d\theta(s)} = \frac{h_t(\frac{kW}{m^2.K}) \times A(m^2)}{L_s(\frac{kJ}{kg})} \times (T(K) - T_s(K)) = \kappa(\frac{kg}{s.m^2.kPa}) \times A(m^2) \times (p_s(kPa) - p(kPa)) \tag{2.21}$$

Onde, $dw/d\theta$ é a perda de humidade, h_t a soma dos componentes que quantificam os mecanismos de transferência de calor (nomeadamente, da convecção, da condução e da radiação), A a área efetiva de superfície disponível para as transferências, L_s o calor latente de vaporização a T_s, T a temperatura da fonte de calor para todos os componentes da transferência de calor, T_s a temperatura de superfície do liquido, κ o coeficiente de transferência de massa, p_s a pressão de vapor do liquido à T_s' e p a pressão parcial do vapor no meio gasoso.

A vaporização ocorrida na superfície do componente é expressa numa mudança de humidade de base seca pela equação 2.22, na qual $dW/d\theta$ equivale à taxa de secagem de base seca, ρ a massa específica do material seco e ε a espessura da camada a secar.

$$-\frac{dW\ (kg/s)}{d\theta\ (s)} = \frac{h_t\ (\frac{kW}{m^2.K})}{\rho\ (\frac{kg}{m^3}) \times \varepsilon\ (m) \times L_s\ (\frac{kJ}{kg})} \times (T\ (K) - T_s\ (K)) \tag{2.22}$$

Período de decaimento da taxa de secagem: A quebra da taxa de vaporização do líquido por unidade se superfície ou de peso de material seco, consiste no intervalo de decaimento da taxa de secagem [37].

A condutividade apresentada pelo material do componenete limita a taxa de transferência de calor [37]. Por sua vez, a taxa de secagem não depende única e exclusivamente dos fenómenos provenientes da condução; existem mecanismos de transferência de massa importantes que contribuem para a secagem [37]. Em concreto, ocorre a difusão de líquidos nos materiais que se apresentam (i) com uma constituição homogénea, (ii) nos materiais porosos e com granulometria baixa apresentam capilaridades, (iii) a difusão de vapor nos poros dos materiais com poros ou granulares, (iv) o fluxo de gravidade nos materiais granulares, (v) o fluxo derivado de gradientes de pressão criados em contracorrente e o fluxo de pressão liquido-vapor quando se aquece um determinado material poroso [37].

A difusão de vapor é um importante fenómeno que ocorre igualmente na subcamada laminar que é formada sobre a superfície a secar [37]. As difusividades diferem na direção em que se dão e se o material se encontra encolhido ou expandido também estas são afetadas [37]. Os efeitos da capilaridade e da gravidade também impactam a difusão. Apesar disso, durante este período da secagem, a condutividade do componente a secar é importante uma vez que o calor deve migrar até ao líquido presente nas capilaridades de forma a que este se possa difundir [37].

Dependendo do tipo de material a secar, das condições impostas e da dinâmica de fluidos, é possível prever através de modelos matemáticos o comportamento de determinado sistema no período de decaimento da taxa de secagem, no entanto, é difícil de passar estas previsões para a efetivação real [37]. Estudos que sirvam de modelos computacionais caem erradamente na falácia de que cada material, apesar de ter sido sujeito às mesmas condições, tem uma constituição diferente, um comportamento de secagem diferente [37]. Portanto, um modelo que idealmente se parece comportar de determinada forma, pode vir a comportar-se de forma distinta, em situações que não sejam controladamente monitorizadas [37].

Difusão

A difusão consiste no transporte molecular, provocado por movimentos aleatórios, de um local de um determinado sistema para outro, sem que outra força motriz seja responsável pela sua transferência molecular [44].

À medida que o teor da humidade contida na superfície a secar vai diminuindo, o coeficiente de difusão vai diminuindo igualmente [37]. No entanto, assume-se, por questões de simplificação, pela segunda Lei de Fick que a mesma não se altera, a humidade inicial é distribuída uniformemente, o teor de humidade de equilíbrio é constante e que o formato, dimensão e densidade do material a secar não se altera [37]. Por ocorrerem ambos na fase terminal da secagem, os fenómenos de condução e de difusão, são, por vezes, confundidos. Apesar de ambos ocorrerem por meio de colisões moleculares e dependerem de uma força motriz que crie um gradiente e provoque o movimento do fluxo, a difusão é um fenómeno de transferência de massa que é originado por uma força motriz

que deriva de diferenças de concentração; a condução deriva do gradiente de energia térmica gerado por moléculas e é, por isso, um fenómeno de transferência de calor [37]. Ambos os fenómenos se complementam na fase final de secagem, sendo mais ou menos relevantes consoante o tipo de material que se pretende secar.

Conteúdo crítico de humidade: Quando o intervalo de taxa de secagem constante é atingido e os pontos de taxa de decaimento da secagem se iniciam, dá-se o ponto crítico de humidade. A partir deste ponto, continua a haver humidade no material mas, o fluxo capilar dá lugar a fenómenos de difusão do vapor [37].

Este estado, depende essencialmente do material de construção do componente, do tempo em que a secagem se dá de acordo com uma velocidade constante, do fluido que se pretende remover e das capilaridades do componente [37]. Não existem estudos exatos que incluam todas as condições a que um determinado componente a secar é sujeito durante um processo de secagem, sendo que, apesar do gradiente de humidade criado entre a camada mais próxima da fonte da secagem e a camada mais afastada da mesma permitir o deslocamento das partículas de fluido no sentido do fluxo de calor, este vai diminuindo à medida que a superfície vai sendo seca [37]. Neste sentido, a resistência das partículas ao forçado movimento pretendido é cada vez maior e existe um ponto no qual o gradiente é tão pequeno que a resistência supera a secagem [37]. Quanto maior for a componente a secar, maior irá ser esta resistência à secagem e maior vai ser o teor de humidade crítico [37]. Neste sentido, fala-se na diminuição da difusividade líquida com o decorrer do processo de secagem e no menor fluxo das camadas mais ínfimas para as camadas mais próximas da fonte da secagem [37]. Os componentes não-porosos são francamente afetados por este tipo de fenómeno [37].

Conteúdo de equilíbrio de humidade: Quando um material é exposto, por um período longo, a um determinado ambiente com uma dada temperatura e uma dada humidade, este estabelece uma relação de equilíbrio de humidade com o meio envolvente [37].

Este estado, não depende nem do método de secagem escolhido, nem da velocidade de secagem; advém do tipo de material de construção do componente e apenas existe se o material for higroscópico [37]. De acordo com as ligações químicas que permitem que ocorra a adsorção ou retenção de humidade, o liquido cria uma barreira regida pela pressão parcial de vapor e por ligações nos interstícios do material que dependem fortemente da temperatura e da humidade às quais o componente está sujeito [37].

A Lei de Henry (equação 2.23), onde p consiste na pressão parcial de vapor e $H(x)$ a constante de Henry, a uma base de conteúdo de humidade nula (x) (constante para qualquer H) relaciona-se com a humidade em equilíbrio que o material constituinte do componente pode conter e para muitos materiais expostos a uma gama de temperaturas compreendida entre os $15°C$ e os $50°C$, consiste numa proporcionalidade direta. Por sua vez, constante de Henry define-se numa função da pressão de vapor do liquido não

ligado[11]. (ver equação 2.24) [37].

$$p(kPa) = \mathscr{H}(x) \tag{2.23}$$

$$\mathscr{H} = f(p_s(kPa)) \tag{2.24}$$

Onde, p_s é a pressão de vapor do liquido não ligado.

De acordo com a equação 2.4, é possível deduzir que:

$$\mathscr{H}_{rel}(\%) = \frac{p(kPa)}{p_s(kPa)} \times 100\% = \frac{f\ (p_s)(x)}{p_s} \times 100\% = f(x) \times 100\% \tag{2.25}$$

O conteúdo de humidade em equilíbrio para um material higroscópico encontra-se ilustrado na Figura 2.16 e, pode-se concluir o efeito da capilaridade e da possibilidade de condensação de humidade nestes locais quando a atmosfera envolvente tem humidade relativa elevada e com uma camada de adsorção contida nas mesmas, caso a humidade relativa seja reduzida [37]. A ciência da sorção não é exata para os diferentes materiais e casos a que estes estão sujeitos. Um material que tenha sido sujeito a determinadas condições de secagem pode-se comportar de forma diferente quando sujeito a estas novamente pois os seus capilares podem adsorver humidade, conter humidade ou desadsorver humidade consoante o tipo de stress criado nos mesmos e a vantagem que existe a nível termodinâmico de efetuar ou não estes fenómenos [37].

Capilaridade: Aos poros intersticiais presentes num material higroscópico, denomina-se capilaridade [37]. Os poros presentes num material podem adquirir diversos formatos e dimensões e são uma componente importante para a secagem da sua superfície, uma vez que a água tem tendência a migrar para o seu interior e criar forças intersuperficiais [37]. As forças envolvidas na migração reversa das partículas do líquido têm a ver com tensões geradas à superfície do próprio material para aumentar a pressão exercida no próprio poro e é inversamente proporcional às suas dimensões radiais, como seria de prever. A equação 2.26, ilustra esta relação [37].

$$\Delta P(Pa) = \frac{s_p(\frac{J}{m^2})}{r(m)} \tag{2.26}$$

Onde ΔP representa o gradiente de pressões gerado, s_p a tensão superficial gerada no poros e r o raio do mesmo.

A aptidão do material ficar molhado indica a sua capacidade de formar ângulos de contacto nas suas interfaces com o liquido e, neste caso, a adesão à superfície e a coesão do liquido são forças que influenciam o seu comportamento [37]. As forças de adesão geradas

[11] **Humidade ligada:** Quando um líquido está contido num material que tem uma pressão de vapor inferior à do liquido puro à mesma temperatura. Isto ocorre quando um liquido pode criar uma ligação por adsorção química ou física com um sólido [37].; **Humidade não ligada:** quando num material higroscópico, a humidade tem uma pressão de vapor igual à do liquido puro à mesma temperatura [37]

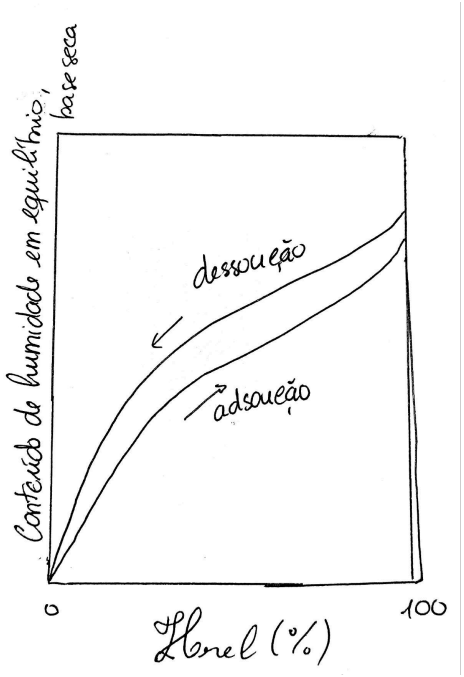


Figura 2.16: Curvas de adsorção/dessorção (adaptada de[37]).

por capilares com raios pequenos, têm maior expressão e, nestes existe uma maior pressão causada por tensões superficiais [37]. Esta capacidade consiste na condensação capilar que contribui para efeitos de histerese[12] que ocorre nos fenómenos de adsorção em materiais higroscópicos [37]. No caso dos capilares com raios maiores, estes são os primeiros a ser totalmente secos, seguidos dos poros com menores dimensões que, se possuírem uma configuração demasiadamente irregular, apenas secam na totalidade pelos fenómenos de condução e de difusão [37].

2.3.3 Regimes do fluxo de um fluido

Existem três regimes nos quais o fluxo de um determinado fluido se pode encontrar: laminar, fase transacional e turbulento. Em todos estes regimes, a indicação que governa o estado no qual o fluxo se encontra é a velocidade a que o mesmo se encontra, sendo que é mais recorrente o regime ser identificado consoante o número de Reynolds (*Re*) [45]. Este é um número adimensional que consiste no quociente entre a força de inércia e a força da viscosidade [45].

O regime laminar é caraterizado por baixas velocidades pelo que fluidos que circulem, seja nos mesmos sentidos, seja em sentidos opostos, e que possuam temperaturas ou estados físicos diferentes, criam uma "barreira" entre si sem que ocorra a mistura efetiva entre os mesmos [45].

[12] **Histerese:** capacidade de um material ou sistema manter suas propriedades mesmo sem haver continuidade dos estímulos que as provocaram.

Por outro lado, o regime turbulento, consiste na combinação entre um fluxo de um fluido a elevada velocidade, originando a quebra da "barreira" anteriormente mencionada e a consequente formação de correntes disruptivas e flutuações aleatórias [45].

2.3.3.1 *Jet Impingement* - Jatos de Impacto

De forma a realizar diversos processos incluídos nas fábricas destinadas a aplicações de engenharia é recorrente utilizar-se a técnica de jatos de impacto. Os processos que mais uso fazem desta técnica são os que incluem o arrefecimento, o aquecimento e a secagem de superfícies [46] e [47]. Com os avanços na tecnologia foi possível estudar diversos cenários processuais.

Esta assenta, essencialmente, na particularidade de proporcionar uma turbulência favorável ao redor da peça ou material que se pretende secar através uso de um fluido à pressão [46]. O escoamento do fluido de elevada velocidade originado é projetado sobre a superfície a secar e rapidamente se ocorre a transferência de massa [46]. Adicionalmente, para processos mais rigorosos e nos quais se pretenda uma otimização temporal, é possível incluir temperatura no fluido, o que leva a que para além da transferência de massa, ocorra também transferência de calor [46]. Os fluidos mais utilizados na secagem por jatos de impacto são ar seco aquecido e azoto gasoso. O fluxo convectivo forçado combinado com o gradiente de concentrações entre o gás e o sólido, provocam potenciam a transferência da fase líquida presente na superfície do sólido para a fase gasosa, permitindo que a água líquida evapore a vapor de água.

Na literatura é possível encontrar diversos estudos realizados de modo a prever o comportamento e a determinar as vantagens e desvantagens de incluir um sistema deste tipo em determinadas conjunturas encontradas nas indústrias.

Apesar dos estudos realizados, existe ainda um elevado nível de desconhecimento no que concerne aos processos de transferência de calor por jatos de impacto [48], uma vez que existem muitos cenários possíveis em contextos reais.

Em particular, o estudo das dinâmicas do fluido projetado sobre superfícies presentes em cavidades são de elevada complexidade e existem diversas possibilidades no que diz respeito ao seu comportamento e influência no designado processo [48]. Neste caso, a turbulência gerada no interior da cavidade é regida pela aerodinâmica gerada, pela recirculação do fluxo, em contracorrente, pelo arrastamento de partículas, pelo gradiente de pressões e por uma camada limite gerada sobre as superfícies que integram o sistema [48].

De acordo com estes estudos, foi possível prever que os impactos de jatos projetados sobre superfícies com determinada curvatura são mais eficientes no que concerne à transferência de calor do que quando estes são projetados sobre superfícies planas.

Com foco neste campo de investigação, o estudo de superfícies concavas foi muito mais desenvolvido do que o de superfícies convexas.

No que se refere a superfícies côncavas, Sharif et al. estudou esta técnica quando projetada sobre superfícies cilíndricas e com curvatura côncava, não confinadas, alterando os

parâmetros relacionados com a geometria do alvo, com a velocidade do jato, espaçamento do nó de saída ao alvo, e concluiu que a transferência de calor aumenta com o aumento do ângulo de curvatura [49]; M. Choi et al (2000) produziu um estudo experimental ao fluxo do fluido e consequente transferência de calor no arrefecimento de superfícies côncavas semicirculares [49]; V. Gilard e LE Brizzi (2002-2006) estudou de forma experimental o comportamento do fluido projetado no interior de uma cavidade cilíndrica, com fundo côncavo e mediram os campos de fluxo correspondentes [48]; Oztekin et al efetuou um estudo experimental e numérico a jatos turbulentos em superfícies concavas variando a curvatura da superfície e outros parâmetros [49]; entre outros autores.

No que se refere a estudos de jatos de impacto sobre superfícies convexas, existe muito maior aplicabilidade no contexto industrial [49]. Apesar disso, os efeitos da curvatura convexa circular e do consequente comportamento do fluxo na superfície do alvo ainda não são bem definidos [49].

Autores como Alcarza et al. (1976), Neuendorf e Wygnanski (1999), Barahma et al. (1991), Lee et al. (1997), Piquet e Patel (1999), produziram estudos em torno deste tema, percebendo que a curvatura produz um impacto no comportamento do fluido. No caso de espaços confinados é importante perceber que a envolvente do sistema consiste numa combinação entre o comportamento do fluido na base da mesma e pelo seu comportamento na região da parede [49].

Por fim, no que se refere às caraterísticas de turbulência geradas por múltiplos jatos que projetam um determinado fluido sobre superfícies curvilíneas permanece com carência de informações [49].

Ao criar nós de saída do fluido de secagem com menor diâmetro, aumenta-se a sua velocidade, de acordo com a teoria da conservação de massa, o que potencia a turbulência ocorrida na superfície do alvo e melhora as transferências de massa e de calor [50].

No impacto por jatos utilizado nos processos de secagem, as velocidades que variam na gama 10-100 m/s são frequentemente usadas para secar folhas de papel, filmes, tintas, etc e ainda em combinações com outras fontes de calor fornecidas por outro tipo de métodos de secagem [37].

A convecção gerada por transferências de massa e de calor está acoplada com uma camada de filme gasoso laminar que é gerada na região adjacente à superfície do componente a secar e é criada pelo próprio impacto do gás na superfície [37]. Neste sentido é considerado aumentar o número de jatos de impacto que incidam em direções diferentes a superfície do componente [37].

2.3.4 Adsorção e Desadsorção

A adsorção carateriza-se pelo fenómeno no qual um fluido (seja líquido ou gás) se concentra à superfície de um sólido (ou de um líquido) com o qual está em contacto, ou na vizinhança [51]. A dinâmica é criada entre o adsorvato, que consiste no componente

adsorvido no adsorvente, que se refere ao componente que serve de superfície à qual se conecta [51].

Se a concentração do adsorvato é inferior à dimensão do adsorvente, a adsorção é considerada negativa [51].

Por sua vez, a desadsorção define-se pelo processo inverso à adsorção, uma vez que neste caso, o adsorvato é removido do adsorvente [51]. Este fenómeno é fortemente influenciado pela histerese [52].

A adsorção é um processo exotérmico pois implica uma diminuição das forças presentes no adsorvente, expressando-se através da libertação de energia por parte do adsorvente. Esta energia é térmica e, portanto, é denominada por entalpia ou calor de adsorção. Contrariamente, a desadsorção é um processo que carece desta energia ou calor térmico, ou seja, um processo endotérmico [51].

Existem dois tipos de adsorção: a quimissorção e a fisissorção. A quimissorção consiste numa adsorção na qual dominam forças de valência, dos tipos iónico e covalente [51] e [52]. A adsorção do adsorvato é regida por forças de maior intensidade, na ordem dos 100 a 1000 kJ/mol libertando um elevado calor de adsorção e existe a formação de uma ou mais camadas de adsorvato na superfície do adsorvente [51] e [52]. Na quimissorção, a ligação entre o adsorvato e o adsorvente é tão eficaz que o primeiro parece ser igualmente constituinte do segundo e pode haver a formação de compostos entre os mesmos [51]. A possibilidade de reverter este fenómeno é de maior dificuldade pois as ligações são fortes. Um exemplo de quimissorção é a oclusão de hidrogénio nas ligas metálicas construídas com cobre ou níquel [51].

Na fisissorção, dominam as forças de *van der Waal's* [51]. A interação de origem eletrolítica é propiciada por superfícies polares ou por cargas condutoras, como é o caso dos metais [52]. Aqui, o adsorvato é incluído no adsorvente por forças de menor intensidade, compreendidas na gama dos 1-10 kJ/mol, o que significa que não ocorre libertação de um elevado calor de adsorção para que se realize e existe criação de multicamadas de adsorvato na superfície sólida ou liquida (filme) [51] e [52]. Neste caso, o cenário de reversibilidade é mais facilitado. Adicionalmente, a fisissorção ocorre igualmente a temperaturas ambiente. Exemplo de fisissorção é a oclusão de gases numa liga metálica [51].

Nota: É importante referir que, por vezes, existe uma má interpretação dos fenómenos de adsorção e confunde-se os mesmos com fenómenos de absorção. A absorção consiste igualmente na existência de um sólido ou líquido distribuído de forma uniforme, mas difere no sentido de ser um processo que envolve a difusão de um fluido (gás ou liquido) na sua matriz [51]. Assim, a absorção envolve a penetração uniforme no absorvente, logo é um processo mais moroso que a adsorção. Apesar disso, estes dois fenómenos podem ocorrer simultaneamente, sendo, neste caso, denominado por sorção [51].

2.3.4.1 Adsorção de gases em metais

A adsorção de gases em superfícies sólidas é denominada por oclusão [51]. A adsorção em superfícies metálicas é uma discussão aberta e que permanece sob investigação atualmente [52].

Tipo de adsorvato: Gases liquefeitos têm maior facilidade em estar envolvidos em processos de adsorção com sólidos do que os gases não-liquefeitos [51]. Neste caso, é importante considerar que a capacidade de os gases serem liquefeitos quando sujeitos à pressão, é regida pela sua temperatura crítica [51]. Gases com maior temperatura crítica, têm maior tendência a liquefazer e isso indica que a sua adsorção em ligas metálicas é mais facilitada [51]. É importante considerar este fenómeno quando se avalia a potencialidade de, numa garrafa de gás a alta pressão, ocorrerem fenómenos de adsorção.

Tipo de adsorvente: O tipo de adsorvente constitui um papel muito importante para que ocorra a adsorção. A quantidade de pontos de adsorção tem relevância na probabilidade de moléculas se adsorverem nestes locais e produzirem ligações mais fortes [51]. Neste sentido, sólidos com maior porosidade têm uma maior área de superfície e permitem uma melhor adsorção do adsorvato [51].

Influência da Pressão

A adsorção é fortemente afetada pela pressão [51]. Na quimissorção, a taxa de adsorção diminui com o aumento da pressão ou da concentração do adsorvato e perto dos valores de saturação, diminui [51]. Contrariamente, a fisissorção, é favorecida pelo aumento da pressão ou da concentração do filme criado e perto da saturação, começa o processo de formação de multicamadas [51].

As isotérmicas de adsorção são um importante estudo desenvolvido que relacionam a expressão da adsorção consoante a pressão imposta pelo adsorvato na superfície do adsorvente [51].

Freundlich e Küster et al, construíram os primeiros modelos matemáticos com fórmulas puramente empíricas que descrevem o comportamento do fenómeno de adsorção para os absorvatos de natureza gasosa [52]. Freudlich et al, consegue desenvolver, em 1906, a primeira equação que define a relação entre o rácio da quantidade adsorvida pela massa de adsorvente e a pressão imposta no sistema [52].

$$\frac{x\,(mg)}{m_{ads}\,(g)} = c\,(\frac{mg}{g}) \times P\,(Pa)^{\frac{1}{N\,(mg)}} \tag{2.27}$$

i.e.,

$$\log\frac{x\,(mg)}{m_{ads}\,(g)} = \log c + \frac{1}{N(mg)} \times \log P\,(Pa) \tag{2.28}$$

Onde x apresenta a quantidade adsorvida, m_{ads} a massa de adsorvente, P a pressão e c e N são constantes relativas ao adsorvato ou ao adsorvente à temperatura do sistema.

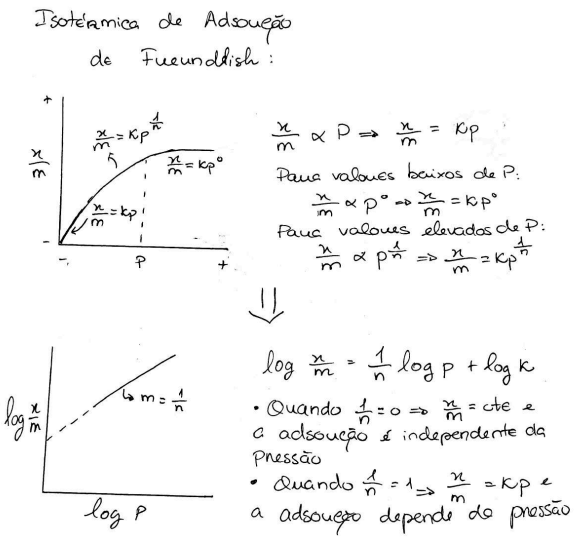


Figura 2.17: Isotérmicas de adsorção de Freundlish (adaptada de [51]).

O equilíbrio dinâmico é caraterizado quando a taxa de adsorção se iguala à taxa de dessorção. A partir da pressão de saturação (P_s), independentemente da pressão que seja posteriormente exercida no sistema, este estado comportamental não se altera [51]. É importante referir que existem limitações nas isotérmicas de adsorção de Freudlich que se depreendem com os sistemas a altas pressões e com concentrações elevadas de adsorvato [51]. Mais tarde e, baseando-se nas seguintes premissas [52]:

1. Todos os pontos de adsorção ("adsorption sites") apenas são equivalentes e podem acomodar uma única molécula;
2. A energia da superfície está uniformemente distribuída e as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras;
3. Não ocorrem mudanças de fases;
4. Quando a taxa de adsorção atinge o seu máximo, apenas uma monocamada é formada.

Langmuir et al, formulou, a nível científico, as primeiras isotérmicas de adsorção. Na sua formulação, foi criada a expressão que traduz a fração de pontos de adsorção ocupados, dada pela equação 2.29 [52].

$$\Theta = \frac{KP}{KP+1} \tag{2.29}$$

Onde, K é o rácio entre as constantes de adsorção e de dessorção, k_1 e k_{-1}, respetivamente, e P é a pressão.

- Para altas pressões: $\Theta \simeq 1$;
- Para baixas pressões: $\Theta = KP$;

Por sua vez, também as considerações de Langmuir foram alvo de críticas pelo facto de que existem sistemas com uma dinâmica interativa tão forte que constituem exceções e envolvem questões quanto às assunções consideradas para poder aplicar os modelos a casos práticos [52].

Assim, o modelo BET, estudado por Brunauer, Emmert e Teller et al, e as extensões de Kisliuk et al tomaram lugar na compreensão dos modelos de adsorção aplicados a casos práticos [52]. No entanto, tendo em conta a dimensão dos sistemas encontrados nas diversas indústrias e os casos particulares nos quais os fenómenos de adsorção e desadsorção são sujeitos a condições particulares, este tópico é ainda alvo de discussão.

Em concreto, é de conhecimento científico que superfícies não tratadas, nomeadamente, rugosas, corroídas e contaminadas têm a propensão de incluir com maior facilidade moléculas de pequenas dimensões e com tendência adsortiva.

No caso das garrafas de gás, estes fenómenos ocorrem facilmente com moléculas específicas de gases e também com a água. Assim, é necessária uma especial atenção ao tratamento da superfície de garrafas com maiores tempos de vida, expostas a piores condições e que são sujeitas a fatores adversos com maior frequência. Para se poder perceber a variação da quantidade de humidade que é medida consoante a pressão contida numa garrafa de gás comprimido, a curva teórica que a define, está ilustrada na Figura 2.18.

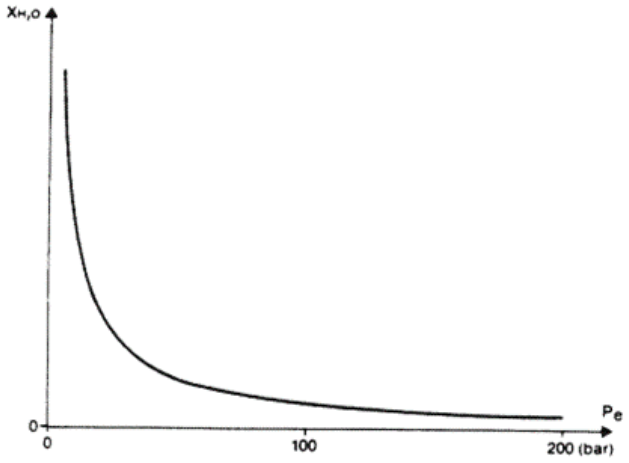


Figura 2.18: Relação entre a humidade contida e a pressão da embalagem [18].

Pelo gráfico, é possível perceber que a pressão residual é uma medida preventiva da aplicação de um gás ou mistura de gases com menor pureza, sendo que é benéfico que a mesma se localize na faixa dos 200 psig a 300 psig (i.e. aproximadamente, 13,8 bar a 20,7 bar) [18].

Influência da Temperatura

Como anteriormente referido, consoante a temperatura exercida no sistema, o comportamento da adsorção é variável [51]. Para a fisisorção, o aumento da temperatura, considerando uma pressão constante, é sinónimo de decréscimo da sua taxa [51]. No caso da quimissorção, a pressão constante, o aumento da temperatura desfavorece o fenómeno, numa fase inicial, mas a partir de determinado ponto, esta é favorecida por meio da necessidade de ocorrência de reações químicas que favoreçam o processo de adsorção [51].

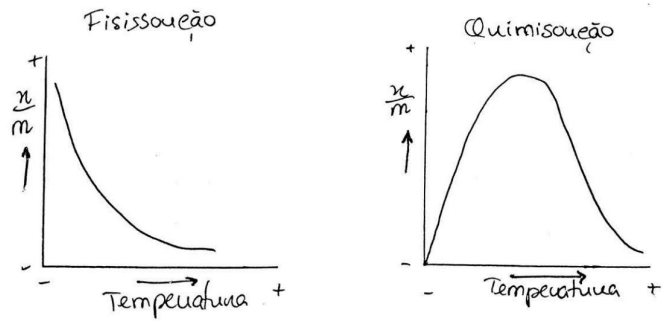


Figura 2.19: Comportamento dos fenómenos de fisissorção e quimissorção de acordo com a temperatura (adaptada de [51]).

Um modelo matemático foi desenvolvido por Polanyi-Wigner et al para estudar o comportamento da taxa de dessorção [52]:

$$k_{-1}(\Theta, t) = -\frac{d\Theta}{dt} = \upsilon(\Theta) \times \Theta^n \times e^{-\left(\frac{E_{A,des}(\Theta)}{R.T(t)}\right)} \tag{2.30}$$

Onde, $\upsilon(\Theta)$ é um termo de frequência, Θ^n é um termo de ordem de cobertura e é incluído um termo com o fator de Arrhenius com a energia de ativação de dessorção.

Estes fenómenos são particularmente de risco para as empresas de comercialização de gases pois os processos de armazenamento dos mesmos devem ser meticulosamente estudados de forma a não haver falhas e não aumentar o risco de potencial adsorção e não conformidade do produto utilizado pelo cliente final.

Importância das irregularidades na superfície do adsorvente: Como se trata de um processo dependente da área de superfície disponível por parte do adsorvente, a adsorção

ocorre com maior facilidade em superfícies que se encontrem irregulares, por exemplo, com rugosidades [51].

Um importante estudo

A composição padrão do gás ou da mistura de gases que se pretende comercializar depende da formulação inicialmente preparada, do controlo de qualidade do gás que deve parametrizar os limites máximos e a preparação da embalagem que deve conter o gás. Segundo Marsumoto et al, a adsorção e a dessorção apresentam-se como fenómenos importantes e que dependem da escolha do metal, da condição da superfície e do tratamento da mesma quanto ao teor de humidade e gases críticos para o produto [52].

Um importante estudo amostral foi feito para perceber os fenómenos de adsorção ou desadsorção em garrafas de gás de aço e de ligas de alumínio e prever o comportamento dos gases com os metais. Foi primeiramente estudado o impacto da pressão nos fenómenos de adsorção/desadsorção, num laboratório com temperatura ambiente e seguidamente, foi feito estudado o impacto da temperatura nesses mesmos fenómenos colocando as garrafas de gás numa câmara termográfica que variou a temperatura na gama ($-10°C$ até $+50°C$) [52].

A fisissorção em filme depreende uma importante expressão em garrafas de gás que contém CO_2, CH_4 e H_2O. Como seria de esperar a fisissorção ocorrida em garrafas de aço é de maior dimensão sendo 20 vezes mais elevada que nas garrafas de liga de alumínio [52].

Apesar dos parâmetros serem a favor das garrafas construídas com liga de alumínio, os fenómenos de dessorção são mais acentuados para as garrafas de aço [52]. A dessorção começa a ocorrer nas garrafas de gás aos 100 bar, sendo que a 30 bar pode libertar até $0,5$ ppm e a libertação de $0,1$ ppm pode ser atingida aos 60 bar [52]. Quanto à temperatura os resultados apontam para as garrafas de aço com valores a variar entre 0,0014 e $0,0184$ $ppm\ CO_2/°C$ e para as garrafas de alumínio os valores variam entre -$0,0003$ e $-0,0005$ $ppm\ CO_2/°C$; a dessorção de água foi identificada em duas das três garrafas de gás de aço [52].

Este estudo comprova a importância da escolha do tipo de garrafa na distribuição de gases, evidenciando a melhor robustez das cuja construção é em ligas de alumínio quando comparadas com as de aço. A título conclusivo, é muito importante que a seleção de garrafas para gamas com maior precisão seja feita seguindo rigor técnico e, caso se opte pela opção de garrafas de gás de aço, é importante que se proceda primeiramente ao tratamento de superfície da embalagem de modo a evitar que fenómenos ocorram aquando da utilização, devido à dinâmica intermolecular existente no seu interior.

Em nota final, apesar da comunidade científica ter conhecimento de que os fenómenos de adsorção/desadsorção são afetados pela pressão e pela temperatura do sistema, existe pouca investigação neste campo e não foi ainda descoberta uma forma de quantificar esta dinâmica que ocorre no interior das garrafas de gás [52].

2.3.5 Contaminantes

2.3.6 Corrosão

Os sistemas de distribuição de gases comprimidos estão permanentemente expostos a diversos fatores adversos que podem ter como consequência a sua degradação e a quebra de qualidade do produto. Em particular, a corrosão pode ocorrer em qualquer local de uma determinada superfície e é uma das maiores ameaças tanto para os fabricantes de embalagens de transporte de gases que pretendem conceber garrafas duradouras e com elevada resistência, como para os fornecedores e distribuidores de gases que pretendem fornecer ao cliente um produto com qualidade que não seja afetado pelo material da embalagem. Incidindo sobre as garrafas de gás comprimido, estas devem ser construídas com um material resistente o suficiente que, primeiramente, seja compatível com o gás a conter pela sua qualidade, mas que esteja, igualmente, preparado para as impurezas que podem ser incluídas no sistema de distribuição [53].

A corrosão consiste num potencial modo de falha do sistema de distribuição e as garrafas de gás recarregáveis têm uma elevada probabilidade de serem sujeitas a este fenómeno durante o decurso do seu serviço [53].

A corrosão consiste essencialmente na combinação entre irregularidades da superfície, nomeadamente, a rugosidade, gerada pela degradação do material constituinte, e da formação de óxidos [53].

Se por um lado, a rugosidade da superfície interna da garrafa de gás aumenta a área de superfície disponível para que ocorram reações, aumenta a adsorção de humidade ocorrida nas paredes internas da garrafa [53].

Por outro lado, a formação de óxidos ocorre quando se dão reações entre os gases e a humidade. A dependência da humidade para a formação de óxidos constitui um dos maiores desafios para o controlo de qualidade incluído nas empresas de gases [53].

O rácio entre a espessura da rugosidade da superfície e formação de óxidos pela concentração de gás na garrafa é razão suficiente para a diminuição da qualidade do gás armazenado [53].

Em concreto, torna-se um problema real que impacta o gás a comercializar, a corrosão ocorrida na superfície interna da garrafa de gás e os componentes em contacto com o gás, como, por exemplo, a válvula, uma vez que produz contaminantes que podem comprometer a qualidade do produto final [53]. Neste projeto, tem-se como principal foco o estudo do conteúdo de humidade no interior da garrafa e esta é fortemente propiciada por fenómenos de irregularidade da superfície interna da garrafa de gás [53].

Estudos conduzidos no interior de garrafas de gás, cujo material de construção são linhas de níquel AISI 4130 Cr-Mo, 316L SS e AISI 4130 Cr-Mo, expostas ao gás corrosivo HBr anidro por mais de um ano de serviço, demonstram diferenças [53]. A quantidade de oxigénio alojada na superfície interna da garrafa de gás da linha de níquel AISI 4130 Cr-Mo é significativamente inferior à quantidade deste gás presente na superfície interna da garrafa de gás de AISI 4130 Cr-Mo, o que sugere que o filme de oxidação produzido numa

superfície com níquel, protegem-na substancialmente dos efeitos da corrosão [53]. Neste estudo, é comprovado que quanto maior a área superficial de oxidação do metal permite a libertação de humidade no produto final e que as ligas de 316L SS e de AISI 4130 Cr-Mo expostas a um gás corrosivo são menos resistentes e diminuem mais a qualidade do gás contido que as ligas revestidas com níquel, como é o caso das linhas de níquel AISI 4130 Cr-Mo [53].

2.3.6.1 Modo de falha identificado pelas associações de gases comprimidos

Tipos de corrosão interna

Apesar da evolução do fabrico de garrafas de gás comprimido estar a melhorar a sua resistência para uma longevidade ao serviço, existem algumas razões que levam a que as mesmas falhem mais cedo que o previsto [54]. Algumas destas falhas têm a ver com a própria construção da garrafa, com as práticas incorretas, com o tempo de uso, com os gases que esta transporta, entre outras [54]. Adicionalmente, apesar do número de incidências associadas ser pequeno relativamente ao número de garrafas comercializadas, existem algumas falhas que se devem à corrosão interna ou externa gerada nas superfícies da garrafa de gás [54].

Garrafas de gases comprimidos que transportam oxigénio ou misturas com oxigénio acima de determinada concentração, dióxido de carbono ou misturas com dióxido de carbono acima de determinada concentração, monóxido de carbono e misturas com monóxido de carbono são os piores casos [54]. Adicionalmente existem gases corrosivos que são igualmente objeto de estudo tais como o HBr ou o HCl [54].

A corrosão é um complexo fenómeno que ocorre na superfície dos materiais metálicos e carece da presença de um eletrólito [54].

Existem, essencialmente, três tipos de corrosão provocadas por gases (i) a corrosão oxidativa, (ii) a corrosão ácida e (iii) a corrosão por stress [55].

A **corrosão oxidativa** ocorre com gases como o oxigénio e o cloro molecular, que quando dissolvidos, formam um eletrólito. Neste caso, a fragilização do material é gerada localmente [55].

Um exemplo recorrente é o conceito conhecido na gíria por ferrugem e a nível científico por processo eletroquímico de corrosão oxidativa, tem início no momento em que uma determinada peça de ferro ou de aço é exposta, na presença de água, à atmosfera e, por sua vez, ao oxigénio que a mesma contém [54]. A degradação do material constituinte das garrafas de gás de aço carbono produz um filme de composto vermelho acastanhado, a ferrugem e a seguinte equação é a que descreve a reação de oxidação [54]:

$$4\,Fe\ +\ 3\,O_2\ +\ 2\,H_2O \rightarrow 4\,FeO.OH \tag{2.31}$$

Por outro lado, o processo de oxidação das garrafas de gás de liga de alumínio produz óxido de alumínio e não necessita da presença de água (equação 2.32), uma reação fortemente exotérmica [54].

$$4\,Al\ +\ 3\,O_2 \rightarrow 2\,Al_2O_3 \tag{2.32}$$

A corrosão ocorre com maior facilidade quando existe um gradiente de energia entre o metal e o óxido formado na sua superfície anteriormente [54].

A **corrosão ácida** é provocada por gases como o dióxido de carbono, o ácido sulfúrico, que quando dissolvidos num eletrólito formam ácidos diluídos [55]. Neste caso, a fragilização do material pode ser gerada localmente, em toda a superfície ou até propiciar a corrosão por stress [55].

A **corrosão por stress** é provocada por gases como o monóxido de carbono ou misturas de dióxido de carbono, que quando colocados em contacto com humidade acima dos 5 ppm v/v, fragilizam o material de tal forma que, no aço, podem vir a prejudicar a ductilidade [55].

O potencial de corrosão interna da garrafa de gás é diretamente afetado pela contaminação por humidade, a qual deve ser evitada ao máximo para garantir a longevidade da garrafa recarregável [55].

A correta secagem do interior da garrafa deve ser garantida pelas entidades envolvidas na manutenção ou intervenção de garrafas de gás comprimido, principalmente quando o teste de pressão hidráulico é efetuado [55].

Importa referir que uma garrafa que provenha do processo de secagem, pode condensar humidade nas suas superfícies internas, caso o fluido evapore e o ar do exterior poderá ingressar no interior da garrafa e potenciar o efeito de corrosão [55]. É, portanto, muito importante que se isole a garrafa que espera pelo processo de secagem.

Possíveis origens da contaminação por humidade

Durante a vida de serviço de uma garrafa de gás comprimido, existem diversas operações que podem levar a que se inclua humidade no seu interior, entre as quais: o fabrico, o uso corrente, o transporte, a manutenção ou o enchimento. Os modos de falha associados a estas operações podem originar a contaminação por humidade e existem alguns conhecidos [55]:

1. Água proveniente do teste hidráulico do fornecedor;
2. Água proveniente do retorno de compostos usados nas aplicações do gás;
3. Entrada direta de água;
4. Água proveniente da manutenção efetuada (seja uma simples reparação ou a requalificação periódica);

5. Água proveniente do processo de enchimento (seja da fábrica de produção ou dos processos de transferência a jusante tais como o enchimento em si);

2.3.7 Métodos para detetar e evitar contaminantes e corrosão

2.3.7.1 Métodos para evitar a corrosão interna aquando do processo de requalificação

Escolha do material de construção da garrafa

A escolha do material de construção da garrafa é um fator muito importante para o seu desempenho ao serviço [55]. As garrafas de gás de ligas de alumínio são uma boa opção para a inclusão de gases como o O_2 e o CO_2, uma vez que este tipo de material tem uma resistência à corrosão superior a outros tipos de materiais [55]. No entanto, o seu estado de degradação é diretamente influenciado pela exposição da sua superfície interna a fatores adversos como a entrada de água, a inclusão de humidade e diversos contaminantes, como é o caso dos cloretos [55].

As garrafas de gás de aço carbono ou de ligas de baixo aço é amplamente utilizada na comercialização de gases como o CO_2 e o O_2 e suas misturas [55]. É um material de construção mais fácil e suscetível à corrosão que depende intrinsecamente do tipo de gás, da pressão do mesmo e o teor de humidade ou outros contaminantes presentes [55].

As garrafas de gás de aço inoxidável são as últimas garrafas colocadas no mercado são mais resistentes à corrosão. O seu uso é limitado pois o investimento é maior mas podem ser usadas em aplicações de gamas com maior pureza (por exemplo, gases especiais) [55]. São francamente sensíveis à contaminação por cloretos e não devem ser usadas em aplicações que envolvam o manuseamento da mesma perto de fontes marinhas [55]. A qualidade da água usada no teste hidráulico deve ser controlada de forma a evitar a inclusão de cloreto compatível com o grau de inoxidação da garrafa [55].

Desenho da garrafa

A conceção da garrafa de gás é um fator importante. A existência de locais de fragilização são motivo suficiente para a rejeição da garrafa, no entanto, existem construções que requerem uma atenção redobrada. As garrafas construídas com bases postiças, são, por exemplo uma delas [55]. Os pontos de soldadura e de junção entre o corpo da garrafa e a base são potencialmente locais de acumulação de água.

Evitar a entrada de água

Considerando o que foi mencionado no ponto 2.3.6.1, deve-se intervencionar a embalagem com rigor técnico durante a requalificação [55]. Adicionalmente, a escolha de válvulas RPV-NRV é muito importante, pois assegura a vantagem do anti-retorno, e a

entrada direta de água ou humidade exterior quando a garrafa é sujeita seja a fatores externos como chuva ou imersão, seja às oscilações de temperatura geradas na própria atmosfera [55].

Gravação da garrafa

Uma gravação da garrafa com utensílios demasiadamente pontiagudos tem de ser evitada. As gravações devem ser efetuadas com ponteiras apropriadas à espessura da garrafa e deve haver uma inspeção visual após a marcação para garantir que não houve cedência do material [55].

Binário de aperto

O binário de aperto usado na associação da válvula ao tipo de garrafa deve ser corretamente aplicado [55]. A rosca da válvula tem de ser apropriada à rosca da garrafa, os isolantes devem ser apropriados e compatíveis com o gás inserido na garrafa, não deve ser exercida, pelo binário de aperto uma força superior à recomendada para o tipo de material de construção da mesma, a montagem da válvula deve ser vigiada pois pode haver cedência do material, devem ser usadas as ferramentas apropriadas [55].

Proteger a superfície metálica

É fundamental entender que se um determinado metal se encontra em conformidade e tem as suas superfícies expostas à água, tem a possibilidade de desenvolver corrosão [54].

Com exceção para o ouro e a platina, está cientificamente comprovado que qualquer material metálico pode sofrer de corrosão, no caso de se encontrar num ambiente propício ao processo de eletroquímico de oxidação e que esta reação pode produzir óxidos, hidróxidos e/ou sulfuretos [54].

Existem garrafas que são revestidas com tinta no seu interior, por exemplo as destinadas a mergulho subaquático. As resinas plásticas reportam falhas e deixaram de ser utilizadas, no entanto, tratamentos de revestimento com níquel ou fosfatos têm vindo a ser uma solução promissora [54].

Para poder proteger as superfícies expostas a compostos oxidativos devido à própria conceção da peça metálica, foi desenvolvida uma variedade de métodos e técnicas [54].

A corrosão galvânica, que pode ser igualmente encontrada nas paredes internas das garrafas de gás, pode ser evitada através de um controlo de impurezas presentes na água do *testing* recorrendo a um sistema de filtração ou a circuitos de separação de impurezas [56].

Tabela 2.11: Processos industriais mais utilizados para a proteção de superfícies da corrosão (adaptada de [54]).

Conceito	**Processo industrial**
Remoção de agentes oxidantes	Tratamento de água da caldeira
Prevenção de reações à superfície	Proteção catódica: - por ânodos de sacrifício; - por corrente impressa. Proteção anódica
Inibição de reações à superfície	Inibição química Controlo de pH
Pintura protetiva 1) orgânica 2) metálica 3) não-metálica	Pintura; Revestimentos. Galvanoplastia; Galvanização; Pulverização do metal. Anodização; Revestimento de conversão.
Modificação do metal	Alumínios: - Aço inoxidável; - Cuproníquel; - Ligas de alta temperatura.
Modificação das condições de superfície	Manutenção para remover agentes corrosivos; Desenho para evitar fendas; Desenho para evitar combinações de metais reativos.

2.3.7.2 Inspeção Visual Periódica

Decorrido o teste hidráulico das garrafas de alta pressão (*hydrotesting*) e após remover a água líquida do seu interior, com o processo de secagem, uma etapa importante depreende-se com a inspeção periódica interna das mesmas. Esta deve seguir diretrizes exigidas pelas normas atualmente em vigor e ter em consideração as recomendações cedidas por associações de gases [57].

Inspeção visual direta com luz branca: A mais típica inspeção que é efetuada e a que se considera como base da deteção de contaminantes, sejam estes de qualquer dos tipos anteriormente mencionados, é a inspeção visual direta com luz branca ou com fibra ótica [56].

Para que o contaminante seja detetado, terá de pertencer a um dos seguintes grupos [57]:

- Matérias particuladas, sem recorrer à magnificação, de tamanho superior a 50 μm, tais como ferrugem, rugosidades e material constituinte solto, solda, e outros resíduos;
- Água líquida ou humidade, visível a olho nu;
- Matérias orgânicas, tais como, óleos, gorduras, hidrocarbonetos, tinta e outros compostos, desde que visíveis a olho nu;
- Agentes de limpeza e seus potenciais resíduos, desde que visíveis a olho nu. Caso alguma matéria seja detetada acima dos limites máximos permitidos, a garrafa de gás tem de ser limpa de novo.

Inspeção visual direta com luz UV

A inspeção com um equipamento que tenha uma luz ultravioleta pode ser um método útil e muitas vezes é usado em complementaridade com o mencionado no ponto anterior [57]. Este método é muito utilizado para inspecionar equipamento que siga ao serviço de oxigénio e permite que, no escuro, seja possível radiar ondas de tamanhos de comprimento entre os 2500-4000 Angströms, sendo a sua intensidade superior a 800 $\mu W/cm^2$ [57]. As lâmpadas mais comercializadas são de mercúrio halogenado e têm de ter pelo menos 50 W [57]. Esta intensidade sobre o contaminante, irá refletir fluorescência, a qual deverá diminuir com o uso [57].

A partir deste método é possível identificar os seguintes contaminantes [57]:

- Matérias particuladas tais como determinadas fibras ou outros resíduos;
- Óleos, gorduras e hidrocarbonetos;
- Agentes de limpeza e seus potenciais resíduos.

Importa referir que a sua utilização implica um rigoroso cuidado, devido aos danos causados pela exposição excessiva, bem como devido às condições em que se examina o interior da garrafa de gás [57].

2.4 Processo de Pintura

A pintura de uma embalagem de gás a alta pressão constitui um dos pontos mais importantes para a imagem da empresa e é fundamental que a mesma se apresente conforme.

2.4.1 Degradação da pintura

Mayne et al iniciou o tópico de discussão relativamente à pintura de aço enferrujado [58]. A fim de tentar perceber qual o impacto de uma superfície não tratada devidamente na pintura de uma peça de metal [58]. Através de algumas experiências conseguiu comprovar que a presença de sulfato de ferro tem um papel fundamental no desenvolvimento de ferrugem e constitui modo de falha da pintura de superfícies que contenham vestígios do mesmo a partir de 938 mg/m^2 de concentração [58]. Em adição, os seus estudos provaram que nos meses de inverno, a formação de ferrugem é mais evidente devido à presença de dióxido de enxofre na atmosfera [58].

Este tópico de discussão desenvolveu o interesse na investigação das causas mais comuns da degradação da pintura, do estado de preparação e descontaminação da interface do suporte de metal e tinta a aplicar e da produção de tintas que fossem cada vez mais eficientes na duração e na proteção da peça contra fenómenos físico-químicos que podem ocorrer durante a sua utilização ou armazenamento [58].

2.4.1.1 Corrosão

Existe uma constante necessidade em proteger a superfície da corrosão provocada por fatores adversos. A corrosão pode ser de diversos tipos, entre os quais intersticial, localizada, geral, etc [58]. Em casos extremos pode elevar o risco de destruição da própria garrafa de gás ao nível estrutural [58].

Neste sentido, as empresas estão cada vez mais preocupadas em identificar e eliminar casos que invalidem o processo de pintura devido ao risco que a corrosão potencialmente agravada pode provocar e prevenir que a mesma se propague até casos extremos.

2.4.2 Exposição da superfície de aplicação a sais solúveis

Uma das investigações, efetuadas por parte autoridades que avaliam o risco de corrosão e as melhores técnicas de pintura, que recolhe maior número de falhas prova que estas são associadas à contaminação por sais solúveis da superfície do suporte a pintar nas indústrias de preparação [58].

A contaminação da interface superfície do suporte e tinta do processo de pintura, pela presença de contaminantes solúveis em água, constitui um risco preponderante para a ocorrência de fenómenos de corrosão [58].

Quando a superfície do metal tem um contaminante que se pode dissolver na água, tal como cloretos e sulfatos, existe a possibilidade de ocorrer um fenómeno de bolhas osmóticas, que promove a criação de reações à superfície do metal tais como a corrosão e a consequente não conformidade da tinta (por exemplo, o empolamento da tinta), num curto período de tempo [58]. A inconformidade origina ainda a criação de problemas de adesão/coesão da tinta ao metal, desenvolvimento da corrosão, entre outros [58]. As bolhas osmóticas são preenchidas com água e, posteriormente vão contendo um determinado teor de compostos provenientes da corrosão do metal [58]. A inclusão de água neste sistema pode ser proveniente seja da própria tinta, seja de moléculas de água que se condensem à superfície da pintura e a permeiem [58]. A água permeada através da pintura é influenciada pelo gradiente osmótico que gera uma força motriz e promove a difusão das moléculas de água [58]. A dissolução dos sais na própria tinta, aumentam o seu volume localmente e o que permite exigir uma força contra a superfície do metal, a pressão osmótica [58]. A corrosão por ferrugem é formada por ação de compostos como o sulfato de ferro, obedecendo às equações 2.33 e 2.34 [58]:

$$4\,FeSO_4 + O_2 + 6\,H_2O \rightarrow 4\,FeOOH + 4\,H_2SO_4 \tag{2.33}$$

$$H_2SO_4 + Fe + \frac{1}{2}\,O_2 \rightarrow FeSO_4 + H_2O \tag{2.34}$$

Adicionalmente, também pode ser gerada por cloretos através de uma sequência de três reações [58]:

$$FeCl_3 + 3\,H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3\,HCl \tag{2.35}$$

$$Fe + 2\,HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2 \tag{2.36}$$

$$FeCl_2 + HCl + \frac{1}{4}\,O_2 \rightarrow FeCl_3 + \frac{1}{2}H_2O \tag{2.37}$$

Como é possível perceber pela Figura 2.20, a corrosão gera corrosão, sendo este um processo cíclico, caso exista acesso à água e ao oxigénio molecular que reage com o ferro presente no aço [58].

Atualmente, tem havido uma maior preocupação por parte das empresas de gases em adquirir garrafas de gás com um material de construção mais resistente e não propenso à criação de corrosão. Neste sentido, as garrafas de gás de aço carbono têm vindo a ser substituídas por garrafas de gás de aço inoxidável, nomeadamente, a liga que fornece melhores caraterísticas quando à degradação quando exposta ao ambiente que uma garrafa

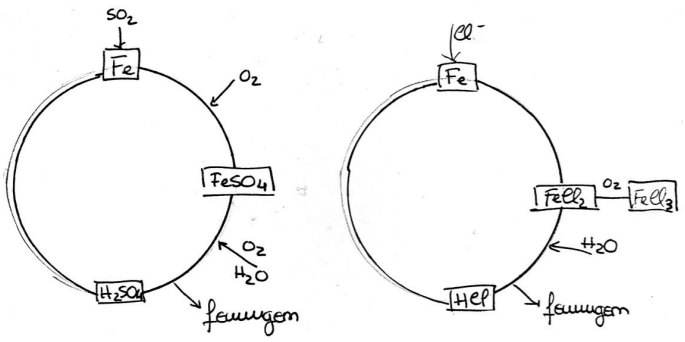


Figura 2.20: Ciclos de corrosão do elemento Fe (adaptada de [58]).

de gás comprimido passa ao serviço e quando é preparada ou requalificada, a 34CrMo4 ou AISI 4135.

Por sua vez, as ligas de alumínio são frequentemente utilizadas na indústria dos gases comprimidos pois interfere menos na composição do produto e possui menor desgaste.

Por outro lado, o tratamento da superfície antes da pintura da mesma constitui uma etapa crucial para a identificação de potenciais modos de falha. Nestes insere-se a remoção da tinta e sujidade que o suporte pode conter, bem como os contaminantes aos quais a mesma esteve exposta (por exemplo, a sais solúveis como o sal marinho proveniente de locais expostos ao mar).

2.4.3 Condições de aplicação

Na pintura de um determinado componente metálico, é importante respeitar as recomendações do fabricante da tinta aplicada. Existem alguns fatores que podem afetar a performance do processo de pintura e consequentemente impactar a qualidade do produto obtido. Neste caso, existem produtos conformes, quando a pintura é bem-sucedida e se atingem os resultados esperados e não conformes, quando a pintura não é feita de forma correta e se obtêm irregularidades na mesma.

Neste sentido, existem parâmetros importantes a ser controlados, nomeadamente a temperatura ambiente, humidade relativa e as impurezas presentes no meio que envolve o processo de pintura, a própria temperatura do material constituinte do suporte, o método escolhido para a exposição da superfície do suporte à pintura, o tempo e o modo de secagem ou cura da tinta, entre outros. Com rigor técnico, todas as indicações devem ser fundamentalmente incluídas no *modus operandi* da atividade e qualquer que seja a condição não cumprida, aumenta o risco de incorrer numa leve ou grave não conformidade do processo de pintura.

2.4.4 Tratamento de superfície

Um dos fatores que maior impacto tem na aplicação da tinta sobre uma superfície que se pretende pintar é o seu tratamento. Por tratamento de superfície depreendem-se todos os processos que envolvem a melhoria do estado do suporte, no qual deverá ser aplicada a tinta.

Em particular, para as garrafas de gás recarregáveis é importante sujeitar as mesmas a processos que englobem a remoção da tinta antiga, para que se possa aplicar a nova. Por outro lado, os tratamentos de superfície atuais reduzem o risco de contaminações e, consequentemente, preparam o suporte para a nova aplicação.

Na generalidade, a preparação da superfície antecede os processos de pintura para que não sejam introduzidas na mesma, impurezas provenientes das transferências do suporte.

2.4.5 Tipos de tinta

Sendo a corrosão e a contaminação da superfície do suporte duas das causas de falha do processo de pintura, é muito importante que se evite que a superfície não seja devidamente tratada através da inclusão destas etapas no processo de preparação de uma garrafa de gás de alta pressão.

Por outro lado, a superfície, devidamente tratada, deve ser preparada com um tipo de tinta que seja adequadamente viável para a aplicação que a garrafa de gás deve servir. Tomando como exemplo os piores casos, atendendo aos ambientes a que uma garrafa de gás comprimido poderá ser exposta, as aplicações que incluem uma envolvente relacionada com a atividade marinha ou que se localizem perto do mar são as que são mais prejudiciais à degradação da superfície externa das garrafas. Para tal, as tintas que são aplicadas nas peças metálicas de componentes metálicos que constituem um navio, por exemplo, são tintas preparadas para o efeito de anticorrosão e de proteção dos metais. É importante referir que a analogia utilizada se aplica a todas as indústrias, uma vez que o que será mais vantajoso para a empresa de gás será obter uma boa imagem do seu produto e prolongar a durabilidade do seu aspeto inicial por um período mais alargado no tempo de serviço. Assim, os custos de manutenção são reduzidos, as incidências são em menor escala, com menores riscos para a empresa e para o cliente e, consequentemente, a posição na competitividade do mercado é mais favorável.

Francamente conhecidas nas indústrias que recorrem a processos de pintura, as tintas orgânicas são uma aposta viável para uma boa proteção das superfícies metálicas [59]. No entanto, devido a questões relacionadas com o ambiente e a sustentabilidade, as empresas de produção de tintas têm vindo a reformular as tintas orgânicas e, por vezes, a optar pelo desenvolvimento de novas tintas que ofereçam as mesmas vantagens às indústrias a jusante e que não sejam propensas à poluição e à saúde [59]. Os inibidores de corrosão de origem orgânica são continuamente libertos para a atmosfera e possuem riscos de toxicidade e cancerígenos [59]. Estes inibidores podem ser hidrocarbonetos, cetonas,

álcoois e esteres [60]. Convencionalmente, as empresas de produção de tintas utilizam ainda inibidores de corrosão como o zinco, o oxido de ferro, crómio, sílicas amorfas e aminas orgânicas [59]. As restrições ambientais incidem sobre estes compostos, conhecidos VOCs (*volative organic compounds*), e definem as suas quantidades máximas [60]. Para além de afetar o ambiente, também podem influenciar a qualidade da própria tinta [59]. Nas diversas indústrias que incluem uma etapa de pintura de componentes metálicas, é recorrente a utilização de tintas em pó, ambientalmente sustentáveis e em constante otimização de propriedades. Existem dois tipos de tintas em pó [60]:

- Tinta em pó termoendurecível;
- Tinta em pó termoplástica.

A primeira tem, na sua constituição, uma resina termoendurecível , pigmentos, aditivos, agentes de cura, etc; a segunda tem, na sua constituição, uma resina termoplástica, pigmentos, plastificantes, estabilizadores, etc [60].

Exemplos típicos para as tintas em pó termoendurecíveis são as de resina epóxi, de poliéster e de resina acrílica. Em concreto, a resina poliéster, como possui propriedades polares, possui um elevado efeito de brilho, uma boa cobertura e uma boa durabilidade [60].

As tintas em pó termoplásticas são geralmente de polietileno, poliamidas, entre outras. Todas estas tintas em pó fornecem uma elevada resistência mecânica e são protetoras no que se refere à corrosão [60].

Os componentes metálicos expostos a ambientes marinhos, são, geralmente, pintados com resinas poliméricas que podem ser epóxi, alquidicas ou de poliuretano que podem conter solventes orgânicos e aditivos orgânicos ou inorgânicos [59]. Os aditivos cromados são favoravelmente recorrentes na passivação da superfície metálica devido à criação de uma película protetora; os aditivos de zinco conferem às tintas epóxi uma capacidade anticorrosiva [59]. Como anteriormente referido, é importante que as tintas que contém este tipo de metais na sua constituição cumpram com as quantidades máximas exigidas por normas que respeitam a perigosidade para com o ambiente e a saúde [59].

Como meio de reinvenção das indústrias de produção de tintas, as tintas que requerem uma base solvente para poder ser aplicadas nos processos de pintura têm vindo a ser gradualmente substituídas por tintas aquosas, *i.e.*, cuja base é a água [59]. Em contrapartida, estas tintas oferecem menor durabilidade e sofrem maior desgaste quando sujeitas a condições de serviço e, deste modo, são mais suscetíveis à permissão da corrosão [59]. Mais uma vez, existem tintas que incluem fosfato de zinco, mas uma vez que este é totalmente removido da superfície, a barreira protetora contra a água e o oxigénio é quebrada e as caraterísticas da tinta voltam a ser favoráveis à corrosão [59]. Nas componentes marítimas, adiciona-se frequentemente às tintas, anticorrosivos inorgânicos, que conferem uma proteção evidente na performace da pintura [59]. As resinas epóxi são mais recorrentes que as alquídicas e que de poliuretano pois fornecem maiores resistências à corrosão [59].

2.5 Gestão de Risco

São diversas as pressões que podem potenciar a necessidade de gerir o risco (ver Figura 2.21). No entanto, uma empresa ou organização, cuja índole se relacione com evolução em prol da sua performance estratégica e atualizada, que pretenda manter os seus *standards* de elevada qualidade e permanecer líder de mercado numa determinada indústria, deve tomar decisões em concordância com uma visão alinhada à melhoria contínua. Para tal, a dinâmica envolvida na gestão do risco torna-se numa ferramenta essencial para o seu sucesso.

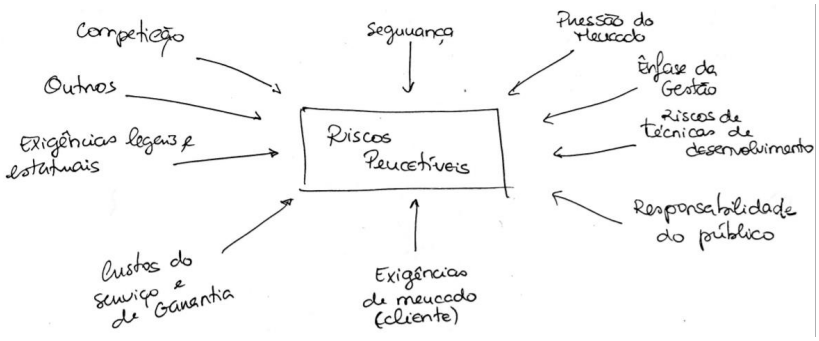


Figura 2.21: Riscos Percetíveis (adaptada de [61]).

A cultura adotada pela empresa, criação e proteção de valor, princípios associados à atividade tais como a segurança, fatores externos e internos à organização, projeção e estudo dos processos são apenas alguns dos comportamentos adotados pelas empresas de maior sucesso e que mais competem para satisfazer as necessidades de mercado.

2.5.1 Normas em vigor e visão geral

De modo generalizado, a Gestão do Risco efetua-se segundo a esquemática exposta na Figura 2.22.

Esta temática explica, passo a passo, as etapas necessárias para identificar e reconhecer riscos, analisá-los, e fazer uso da perceção adquirida para avaliar o risco global através das conclusões, comparando a sua expressão com os objetivos e performance necessária achar pela organização. Durante estas etapas, é necessário tomar decisões e priorizar o tratamento de determinados riscos [62].

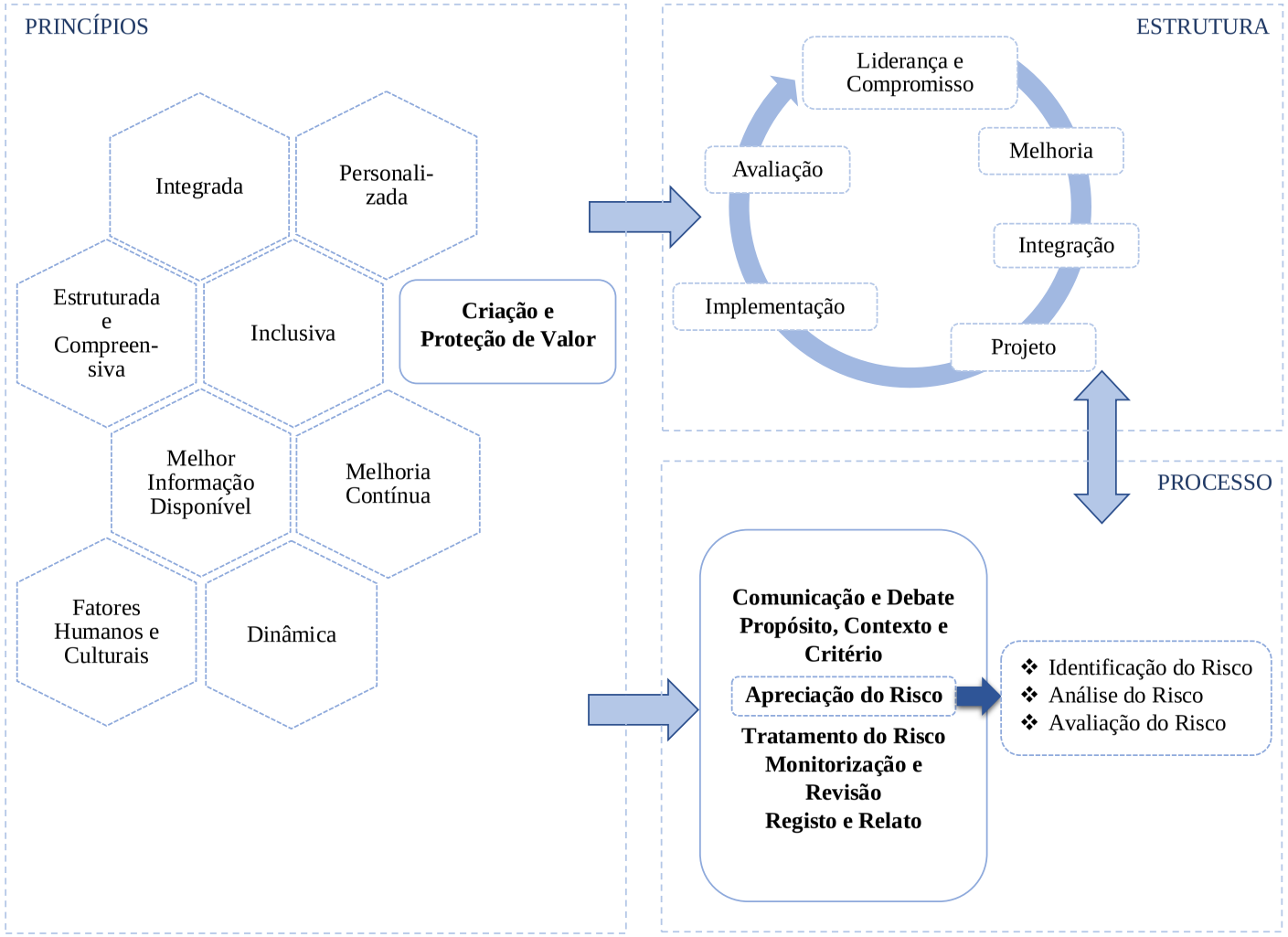


Figura 2.22: Princípios, Estrutura e Processo – Gestão do Risco eficiente, efetiva e consistente (adaptada de [62] e [63]).

As diretrizes de uma organização, entidade ou empresa que pretende adquirir uma postura favorável no mercado [62]:

- Definem a gestão de risco como uma parte integral;
- Permitem seguir uma lógica estruturada e compreensiva;
- Fazem com que a estrutura e o processo sejam personalizados, de modo a satisfazer os objetivos definidos;
- Incluem todas e quaisquer das partes interessadas nas discussões e consideras as suas diversas perspetivas uma mais-valia para a adequada análise de risco;
- Preparam, consoante o contexto e/ou conjuntura que seja proporcionada e o aparecimento ou desaparecimento de riscos, formas de antecipar, de detetar, de mitigar e de responder da melhor forma a este dinamismo;
- Sempre que possível, coletam e consideram informação histórica e/ou atual, tal como projeta e avalia o comportamento futuro esperado, partilhando-o com as partes interessadas;
- Compreendem que as práticas humanas e a cultura influenciam o decorrer da atividade;
- Potenciam a aprendizagem e recorrem ao uso da experiência para a melhoria contínua.

2.5.2 Apreciação do Risco e Técnicas Desenvolvidas

A apreciação do risco compreende as suas fontes, potenciais efeitos, as suas consequências e as suas probabilidades. No entanto, nem sempre se dispõe das ferramentas ou condições necessárias para a determinação dos parâmetros mencionados. Neste sentido, existem diversas técnicas que são apresentadas pela Norma ISO 31010, de modo a efetuar uma análise de risco adequada à eventual situação que se pretende estudar [62]. É importante perceber que todas as técnicas desenvolvidas para explorar e gerir o risco, obedecem à temática organizacional definida no esquema da Figura 2.22.

De acordo com a Norma ISO 31010, a análise de risco tradicional cruza a consequência ou severidade dos modos de falha, que podem ou não se vir a efetivar, com a sua probabilidade de ocorrer ou ocorrência, formando a denominada matriz de criticidade. A sua combinação origina o nível de risco dos diversos modos de falha identificados e, assim, é possível priorizar quais os que têm maior expressão na análise e colocá-los em destaque. À posteriori, ações de mitigação dos riscos devem ser tomadas de modo a "corrigir" a situação que está a ser analisada [62].

Adicionalmente, uma técnica mais complexa e atual, considera mais um parâmetro de avaliação do risco: a deteção. A deteção é determinada através das medidas atualmente

implementadas para evitar que o modo de falha ocorra. Efetivamente, é um parâmetro importante quando a situação a aplicar a análise de risco já se encontra implementada e pretende-se melhorá-la. A técnica é adequada, por exemplo, a processos, e consiste numa metodologia prática e baseada na filosofia da melhoria contínua: a análise de risco *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) [62].

A FMEA pode ser aplicada a um sistema, projeto, processo, produto ou serviço e avalia falhas, entre as quais, problemas, erros, riscos ou problemas, que podem ocorrer aquando da sua execução e antes que este chegue ao cliente ou "consumidor" [61]. Esta análise consiste numa prática comum nas empresas ligadas a indústrias por ser orientada por técnicas que se baseiam em conhecimentos de engenharia, confiança e desenvolvimento organizacional [61]. Consiste numa técnica usada para identificar as diversas formas das componentes, sistemas ou processos falharem para preencher a sua intenção de projeto [62]. Para isso, identifica todo o tipo de modos de falha das várias partes integrantes do sistema (que é o que se observa que falha ou é realizado de forma incorreta), identifica efeitos que estas possam ter no sistema, identifica o mecanismo da falha e prepara formas de evitar a evitar e/ou mitigar os seus efeitos [61].

Para uma FMEA aplicada a um determinado processo, devem-se executar os passos que se seguem [61]:

1. Definir o propósito e os objetivos do estudo;
2. Construir uma equipa multidisciplinar;
3. Compreender o processo e as suas diversas componentes;
4. Dividir o processo nas suas diversas componentes;
5. Definir a função de cada componente;
6. Para cada componente, saber definir os seus modos de falha, quais os mecanismos que podem os geram, quais os seus efeitos e se estes comprometem a atividade, e como se pode, atualmente e com as ações implementadas, detetá-los;
7. Definir as oportunidades de melhoria que podem evitar que o processo seja afetado pelos modos de falha;
8. Criar as ações de mitigação a implementar para evitar que os modos de falha sejam possíveis de ocorrer;
9. Projetar quais as melhorias procedentes à implementação das ações de mitigação para os modos de falha identificados;
10. Para cada componente, definir os novos modos de falha, quais os mecanismos que os podem gerar, quais os seus efeitos e se os mesmos continuam a impactar a atividade, e definir os novos métodos para detetar eventuais acontecimentos.

De entre as potenciais ou efetivadas causas que possam levar uma empresa efetuar uma análise de risco, é necessário classificá-las de acordo com três propriedades (denominadas de *risk criteria guidelines*) [61]:

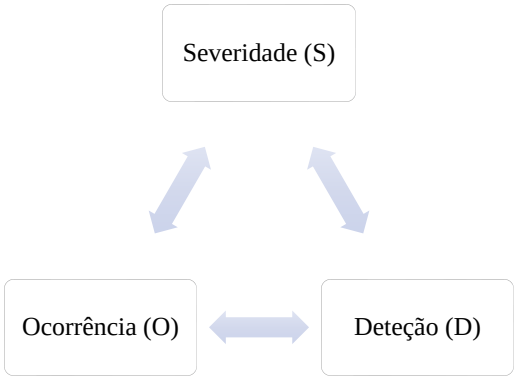


Figura 2.23: Parâmetros de avaliação do risco na técnica FMEA.

A severidade é um indicador dos efeitos que causa ou pode causar uma falha; a ocorrência é um indicador de frequência da falha; a deteção é um indicador que mede a capacidade de detetar a falha antes que esta chegue ao cliente ou consumidor, *i.e.*, as medidas adotadas para evitar que a falha ocorra [61]. Estes três parâmetros que medem o grau do risco em questão, devem despoletar uma ação garantida, planeada ou ignorada, conforme o impacto que um determinado modo de falha *versus* causa-efeito tem no dito "normal funcionamento" da atividade [61].

A abordagem da FMEA pode ser de tipo quantitativo, qualitativo ou ambos [61]. Para os diversos tipos de escalas é necessário criar fronteiras muito bem definidas de modo a não suscitar nenhum inequívoco ou eventual discórdia relativamente ao nível a aplicar a cada um dos parâmetros a analisar para os diferentes modos de falha. O *risk priority number* (RPN) é o produto dos três indicadores acima descritos (ver equação 2.38) e serve para, como o próprio nome indica, destacar quais as falhas que são mais significativas e com maior prioridade de implementar uma ação de melhoria [61].

$$RPN = S \times O \times D \tag{2.38}$$

As ações de mitigação devem ser criadas para todos os modos de falha, no entanto, há alguma prioridade sobre alguns com maior nível de significância. A técnica FMEA recorre, em primeira instância, ao método de categorizar os diversos modos de falha pelos respetivos RPN. Esta metodologia é a mais recorrente, mas pode, de certa forma, "camuflar" modos de falha críticos, na medida em que o RPN se trata do produto dos três fatores anteriormente mencionados e não existe uma diferenciação entre os mesmos quanto à sua importância. Isto pode gerar dois modos de falha com o mesmo RPN, mas cuja prioridade é distinta. Para colmatar esta imparidade existem duas metodologias que podem ser complementares à inicial. Primeiramente, os modos de falha, cujos níveis de severidade se

encontrem maximizados, são priorizados. Adicionalmente, pode ainda ser definida uma nova metodologia, baseada na análise de risco tradicional, descrita anteriormente como a matriz de criticidade, onde é avaliada a severidade *versus* a ocorrência [61].

As ações de mitigação aplicadas aos modos de falha identificados como sendo de maior risco devem ser planeadas igualmente em *brainstorming* e incidir sobre as melhores soluções resultando de um balanço de três componentes: qualidade, economia, rapidez.

Pela análise da Figura 2.24, é possível perceber que é impossível obter as três componentes no seu desempenho máximo [61]. Apesar disso, deve-se achar a combinação mais estável.

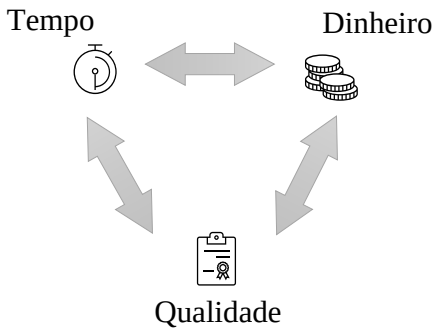


Figura 2.24: Equilíbrio temporal, monetário e qualitativo.

Quanto à necessidade de implementar as ações de mitigação que devem ser tomadas, para um processo, um dos exemplos dados por [61] é o que se segue na Tabela 2.12.

Tabela 2.12: Critério de acordo com os níveis de parâmetro para a necessidade de criação de ação de mitigação dos potenciais modos de falha(adaptada de [61]).

Níveis dos parâmetros			Causas de falha	Ação corretiva
S	O	D		
1	1	1	Situação ideal	Não necessita de se criar
1	1	5	Domínio assegurado	Pode-se criar
5	1	1	A falha não atinge o cliente	Pode-se criar
5	1	5	A falha atinge o cliente	É necessário criar
1	5	1	Falhas frequentes, detetáveis e caras	É necessário criar
1	5	5	Falhas frequentes, atingem o cliente	É necessário criar
5	5	1	Falhas frequentes, com impacto significativo	É necessário criar
5	5	5	Problema grave!	É obrigatório criar

Pela análise da tabela conclui-se que em modos de falha onde existam mais dois parâmetros avaliados com a escala no máximo, começa a haver a necessidade de implementar ações de mitigação para que estes sejam minimizados. Finalmente, é importante que, para os diversos modos de falha e sua respetiva criticidade, se criem prazos de ação para que as ações de mitigação possam ser tomadas. Por norma, o formato de uma FMEA é apresentado em Tabela que tem uma configuração própria e segue uma lógica sequencial de análise, Figura 2.25.

A finalidade de uma boa FMEA deve [61]:

- Saber sinalizar e reconhecer os diferentes conhecidos ou potenciais modos de falha;
- Saber apontar as causas-efeitos de cada um dos modos de falha identificados;
- Classificar os diferentes modos de falha de acordo com o seu RPN;
- Apresentar o que deverá proceder as diferentes falhas de acordo com as oportunidades de melhoria encontradas e ações corretivas adotadas ou ainda por adotar.

É de salientar que, tal como os riscos identificados podem mudar, consoante a perspetiva adotada, a FMEA apoia-se na procura incessante por novos métodos e otimização dos sistemas, projetos, processos, produtos ou serviços em estudo [61]. É, portanto, uma análise dinâmica, incompleta e de contínua melhoria, podendo ser alterada de acordo com várias perspetivas. Por essa razão, a FMEA tem de ser efetuada num contexto de equipa funcional e que integre os conhecimentos necessários à correção dos modos de falha, e não ser de base individual [61]. A FMEA adota um método conhecido por *brainstorming* que consiste numa estratégia de discussão que promove a obtenção de uma solução holística através da recolha de diversas opiniões quanto à resolução de um dado problema, obtendo, portanto, diferentes e novas perspetivas de análise, que, em conjunto, formam a solução final.

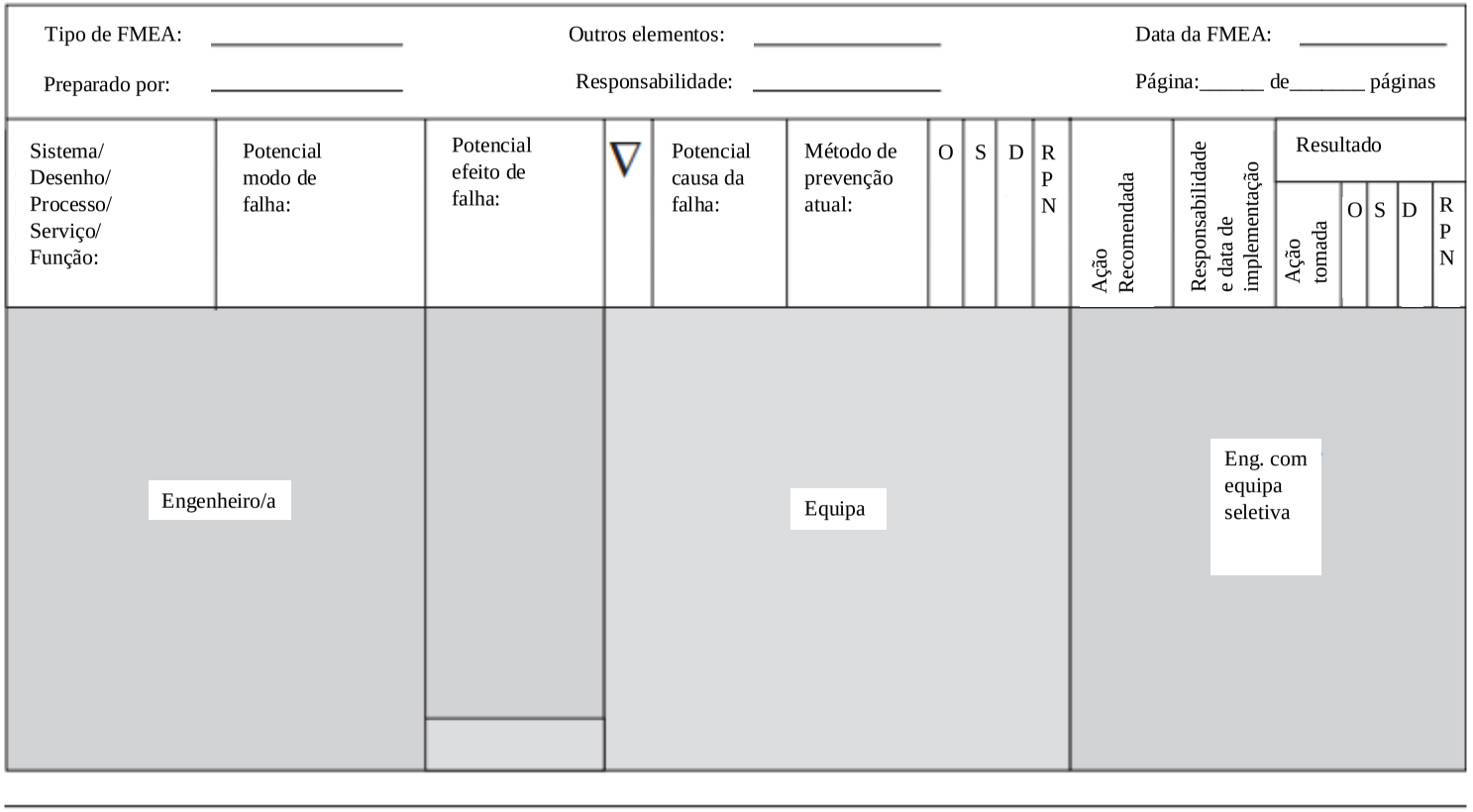


Figura 2.25: Exemplo FMEA (adaptada de [61]).

3

Materiais e Métodos

3.1 Tratamento de Amostras

Considerando a dimensão e variabilidade de embalagens que são tratadas no CMD não é possível suportar as conclusões finais e generalizar nos resultados obtidos através de planos de experiências realizados no terreno.

No entanto, com o propósito de suportar este estudo, recorreu-se à estatística que é parte integrante da investigação. [64] A estatística define-se como a análise, a interpretação e a apresentação e comparação de dados numéricos históricos, atuais e futuros. [65] Existem duas tipologias de dados: os dados variáveis e os dados discretos. [65] Os dados variáveis consistem em conjuntos de números que são efetivamente contínuos, ao passo que, os dados discretos apenas podem assumir valores como números contáveis. [65] Os dados podem depois ser combinados com factos, o que acaba por ser muito importante para a melhoria contínua da qualidade. [65] Os dados são tipicamente recolhidos de grandes conjuntos de dados, frequentemente, denominados por populações, sobre os quais é impossível extrair toda a informação. Ao conjunto de dados que se retiram da população designa-se de amostras. [65] A amostragem é uma técnica usada na investigação efetuada à população. [65]

A investigação dispõe de diversos tipos de amostragem que podem ser caraterizados de diferentes formas. Em concreto, pode-se recorrer às metodologias de tratamento descritas no esquema da Figura 3.1.

Uma amostragem considera-se probabilística quando cada um dos elementos da população tem a mesma probabilidade de vir ser selecionado, formando a amostra. Perante uma população homogénea, recorre-se à aleatoriedade na seleção de dados [64], [66] e [67].

Por outro lado, quando a seleção da amostra carece de espírito crítico na seleção e a escolha de dados é obedece a critérios definidos, trata-se de uma amostragem não probabilística cuja aleatoriedade é inexequível [64] e [66].

A amostragem probabilística aleatória simples é a mais recomendada para populações extremamente homogéneas e a mais recorrente [66] e [67]. Trata-se de uma amostra recolhida da população de forma aleatória e sistemática até constituir a dimensão pretendida [66] e [67].

A amostragem probabilística aleatória estratificada consiste na criação de subgrupos homogéneos ou similares a partir de uma população e selecionar um elemento de cada um desses subgrupos para construir a amostra final [66] e [67]. O principal objetivo é criar

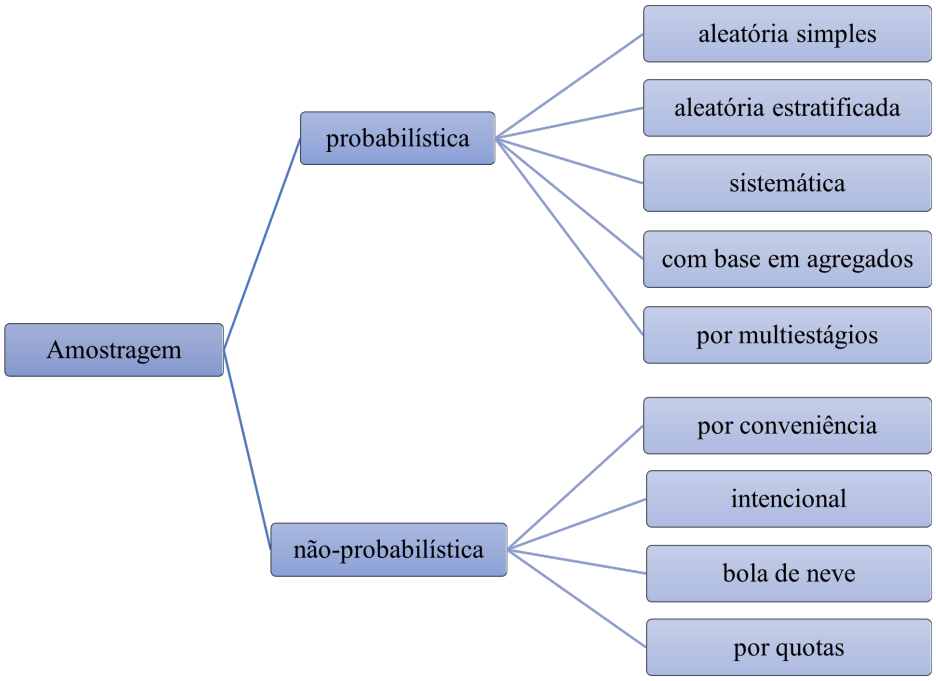


Figura 3.1: Metodologias de tratamento de amostras (adaptada de [64], [66] e [67]).

alguma variabilidade na amostra final de forma que esta se torne realmente representativa da população [66].

A amostragem probabilística sistemática consiste, como próprio nome indica, na recolha de dados de uma população de forma sistemática, começando num determinado ponto e indo avançando ao longo da população de forma cadente e de acordo com um sistema de contagem definido [64], [66] e [67].

A amostragem probabilística com base em agregados define-se em tratar diversos elementos recolhidos aleatoriamente de uma população como agregados e selecionar membros aleatoriamente [66] e [67].

A amostragem probabilística por multiestágios consiste na formação de agregados de amostras que são subdivididos em novos agregados e destes são selecionados membros aleatoriamente [66].

A amostragem não-probabilística por conveniência baseia-se na seleção de membros de uma amostra recorrendo a uma filosofia de conveniência [66]. Será de acordo com a disponibilidade e acessibilidade dos elementos da população que a amostra é constituída [66].

A amostragem não-probabilística intencional é regida por necessidades ou intenções geradas pelos elementos da população [66]. A amostragem é considerada deliberada e de julgamento baseando-se na opinião dos elementos selecionados [66].

A amostragem não-probabilística bola de neve também designada por amostragem em cadeia ou sequencial consiste na seleção de um elemento de uma população que por sua vez deverá identificar outro elemento próximo a si que possa ser inquirido. Isto ocorre

quando é difícil selecionar uma amostra de uma população [66].

A amostragem não-probabilística por quotas consiste na seleção de elementos de uma população que obedecem a uma determinada caraterística a analisar sendo que essa caraterística serve se quota para a seleção de novos elementos para a amostra [66].

Ao passo que os métodos probabilísticos se baseiam numa seleção puramente aleatória, os métodos não probabilísticos são francamente criticados por recorrerem a uma seleção deliberadamente selecionada de acordo com as intenções da pesquisa [67].

Apesar das diferenças encontradas para cada um dos tipos de amostragem, é importante manter em mente que o processo de amostragem deve ser adequadamente documentado de forma a incluir todas e quaisquer possíveis causas-raíz das conclusões obtidas da população. Por outro lado, a amostra deve considerar todos os recursos disponíveis de modo a poder ser comparável com os restantes elementos da população não estudados, e não deve ser de qualquer modo de caráter tendencioso.

Assim, através do estágio efectuado no CMD, foi possível proceder à recolha de diversos dados que puderam ser posteriormente tratados de forma a retirar posteriores conclusões, que interessam ao estudo.

3.2 Estudo do impacto das condições atmosféricas na humidade contida na garrafa

Para ajudar a entender qual o impacto que a atmosfera envolvente à garrafa cujo interior se encontra exposto tem na humidade, procedeu-se a um estudo que tem como principais objectivos responder às duas seguintes questões:

1. Qual a quantidade de água que está contida no ar que se encontra no interior da garrafa, se se considerar que esse ar é o mesmo que o ar da atmosfera envolvente?

2. Qual a quantidade de água condensada nas paredes internas da garrafa, após arrefecimento da mesma num determinado dia em que o ar se encontra saturado de vapor de água?

Por questões de simplificação, considerou-se o caso mais típico, uma garrafa de aço, com capacidade de 50 L de água. De modo a responder às duas questões mencionadas fizeram-se dois estudos independentes.

Primeiro estudo: Primeiramente, foi necessário recolher os dados meteorológicos de uma base de dados. Um *website* denominado *The POWER Data Access Viewer* da NASA é uma base de dados que contém parâmetros meteorológicos e solares para poder construir e produzir sistemas de energia renovável. A partir deste *website* e sabendo as coordenadas de localização, foi possível obter para cada um dos dias pertencentes aos últimos três anos (2018, 2019 e 2020), os seguintes dados:

- Temperatura máxima a 2 metros, em $°C$;
- Temperatura média a 2 metros, em $°C$;
- Temperatura mínima a 2 metros, em $°C$;
- Temperatura de termómetro húmido a 2 metros, em $°C$;
- Humidade específica a 2 metros, em $g\ H_2O/kg$ ar seco;
- Humidade relativa a 2 metros, em
- Ponto de orvalho a 2 metros, em $°C$;
- Precipitação, em mm/dia;
- Pressão Superficial, em kPa.

Os cálculos efectuados foram:

1. Passar as primeiras três temperaturas que estão em $°C$ para K e a pressão superficial que está em kPa para atm, através dos respectivos factores de conversão $1\ °C = 273,15\ K$ e $1\ kPa = 9,869 \times 10^{(-3)}\ atm$;

2. Recorrer à Lei dos Gases Perfeitos (equação 2.14) para determinar o número de moles de ar húmido, a partir da qual se pode deduzir:

$$n_{\text{ar húmido}}\ (mol) = \frac{P\ (atm) \times V\ (L)}{R\ (\frac{L.atm}{K.mol})} \tag{3.1}$$

   Considerando P = Pressão Superficial, $V = 50\ L$, $R = 8,2057 \times 10^{(-2)}\ L.atm.K^{-1}.mol^{-1}$ e as três temperaturas convertidas no passo anterior;

3. Determinar a massa de ar húmido através da equação 3.3:

$$n\ (mol) = \frac{m\ (kg)}{M\ (\frac{kg}{mol})} \tag{3.2}$$

   i.e.,

$$m_{\text{ar húmido}}\ (kg) = n_{\text{ar húmido}}\ (mol) \times M_{ar}(\frac{kg}{mol}) \tag{3.3}$$

   Considerando $M_{ar} = 28,97 \times 10^{(-3)}\ \frac{kg}{mol}$

4. Obter a massa de ar húmido a massa de água, através da humidade absoluta (equação 3.4):

$$m_{gua}\ (g) = m_{\text{ar húmido}}\ (kg) \times \frac{1000\ g}{1\ kg} \times \frac{\mathscr{H}(\frac{g_{H_2O}}{kg_{\text{ar seco}}})}{FC} \tag{3.4}$$

sendo $FC = (\frac{1000\ g}{kg}) + \mathcal{H}\ (\frac{g_{H_2O}}{kg_{\text{ar seco}}})$, um factor de conversão;

5. Passar a massa de água que está em g para mg e depois dividi-la pelos 50 L para obter mg de água no interior da embalagem, o que corresponde a $ppm\ v/v$.

Segundo estudo: Seguidamente, efectuou-se um estudo à possibilidade de, na noite de um dia de nevoeiro, no qual o ar se encontra saturado de vapor de água, a garrafa que esteve exposta durante o dia, arrefecer até tal ponto que seja possível condensar água nas suas paredes internas.

Neste caso, a utilização da carta psicrométrica é necessária para poder determinar a quantidade de água condensada a uma determinada temperatura que é determinada pela curva de saturação.

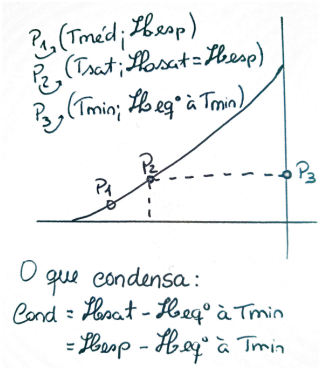


Figura 3.2: Cálculos necessários para a determinação de humidade condensada.

Para tal, procedeu-se à elaboração de uma carta psicrométrica, seguindo os passos descritos na referência [68], e procedeu-se à construção da curva de saturação, e aproximou-se a uma equação polinomial.

Neste estudo os passos seguidos foram:

1. Construção de carta psicrométrica com aproximação da curva de saturação;

2. Assinalar o ponto P_1 para cada um dos dias pertencentes aos três anos do estudo, através da temperatura média em $°C$ e da conversão da humidade específica para $kg_{H_2O}/kg_{\text{ar seco}}$;

3. A partir da humidade específica, e recorrendo à diminuição de temperatura até à curva de saturação, foi possível assinalar o ponto P_2 para cada um dos dias do ano;

4. Calcular a humidade de equilíbrio ($\mathcal{H}_{eq°}$) em $kg_{H_2O}/kg_{\text{ar seco}}$, a partir da temperatura mínima em $°C$ e recorrendo à equação determinada no primeiro passo.

   Assinalar o ponto P_3 para cada um dos dias do ano;

5. Efectuar a subtracção da humidade de equilíbrio à humidade específica para determinar o condensado em $kg_{H_2O}/kg_{\text{ar seco}}$. Os casos em que o valor dá positivo indicam que houve humidade no interior da garrafa que condensou nas paredes internas da mesma;

6. Obter a massa de ar húmido a massa de água, através da conversão da humidade condensada nas paredes (equação 3.6):

$$n\ (mol) = \frac{m\ (kg)}{M\ (\frac{kg}{mol})} \tag{3.5}$$

i.e.,

$$m_{\text{ar húmido}}\ (kg) = n_{\text{ar húmido}}\ (mol) \times M_{ar}(\frac{kg}{mol}) \tag{3.6}$$

Considerando $M_{ar} = 28,97 \times 10^{-3}\ \frac{kg}{mol}$

7. Obter a massa de ar húmido a massa de água, através da humidade específica (equação 3.7):

$$m_{\text{água}}\ (g) = m_{\text{ar húmido}}\ (kg) \times \frac{1000\ g}{1\ kg} \times \frac{\mathscr{H}_{esp}(\frac{g_{H_2O}}{kg_{\text{ar seco}}})}{FC} \tag{3.7}$$

sendo $FC = (\frac{1000\ g}{kg}) + \mathscr{H}_{\text{esp}}\ (\frac{g_{H_2O}}{kg_{\text{ar seco}}})$, um fator de conversão;

8. Passar a massa de água que está em g para mg e depois dividi-la pelos 50 L para obter mg de água no interior da embalagem, o que corresponde a $ppm\ v/v$.

3.3 Estudo do impacto da pressão na humidade do gás de saída

Foi feito um estudo no *site* CMD que incidiu sobre o tratamento ou preparação de 16 garrafas de gás aleatóriamente selecionadas do SV do CMD. As garrafas são sem soldadura, de capacidade equivalente a 50L de água, e os fornecedores diferem, os anos de fabrico diferem e o material de construção é o aço.

Como objetivos principais pertendia-se perceber se as garrafas preparadas cumprem com as especificações de humidade e, seguidamente, perceber se haveria uma variação significativa no conteúdo de humidade do gás com a redução da pressão da garrafa. Por outro lado, também foi relevante um estudo relativo à diferença dos tempos de secagem das garrafas de gás.

Consideraram-se 8 tempos de secagem para cada duas garrafas: 8 min, 9 min, 10 min, 11 min, 12 min, 13 min, 14 min e 15 min. Cada uma das garrafas foi identificada na gola, com o seu tempo de secagem e com o seu respetivo número, selecionando-se duas mangueiras aleatórias do processo de secagem de modo a haver duas garrafas por cada tempo definido. Desta forma, a amostra apresentou-se da seguinte forma:

A garrafa 1.1. foi seca na mangueira 1 por 8 minutos; a garrafa 1.2. foi seca na mangueira 2 por 8 minutos; a garrafa 2.1. foi seca na mangueira 1 por 9 minutos; a garrafa 2.2. foi seca na mangueira 2 por 9 minutos; a garrafa 3.1. foi seca na mangueira 1 por 10 minutos; a garrafa 3.2. foi seca na mangueira 2 por 10 minutos; a garrafa 4.1. foi seca na mangueira 1 por 11 minutos; a garrafa 4.2. foi seca na mangueira 2 por 11 minutos; a garrafa 5.1. foi seca na mangueira 1 por 12 minutos; a garrafa 5.2. foi seca na mangueira 2 por 12 minutos; a garrafa 6.1. foi seca na mangueira 1 por 13 minutos; a garrafa 6.2. foi seca na mangueira 2 por 13 minutos; a garrafa 7.1. foi seca na mangueira 1 por 14 minutos; a garrafa 7.2. foi seca na mangueira 2 por 14 minutos; a garrafa 8.1. foi seca na mangueira 1 por 15 minutos; a garrafa 8.2. foi seca na mangueira 2 por 15 minutos.

Nesse sentido, as garrafas de gás foram submetidas ao circuito de requalificação e, cada uma, com os tempos de secagem correspondentes, foram, posteriormente preparadas para a etapa de enchimento.

O cesto de garrafas seguiu para a rampa de análises, no qual foi possível determinar a humidade do gás contido, optando-se pelo N_2. A rampa de análises apresenta-se na Figura 3.3.

Figura 3.3: Rampa de análises presente perto da zona de enchimento.

Para a medição da humidade foi utilizado um higrómetro presente no laboratório de análises do *site*, perto da zona de enchimento de embalagens de gases a alta pressão. O higrómetro tem um sensor, com um dissecante no interior, que tem a capacidade de expandir com o gás e efetuar a medição da humidade em ppm. Este é da empresa Shaw Moisture Meters e corresponde ao modelo SADP Portable Dewpoint Meter.

O manuseamento dos equipamentos presentes no laboratório é regido por procedimentos impressos que estão colocados perto do aparelho para evitar que as medições sejam efetuadas de forma incorreta.

O equipamento utilizado está ligado a um rotâmetro, com a função de desacelerar o caudal do gás quando este passa pelo sensor do aparelho de medição.

O esquema de medição, pode ser visualizado nas Figuras 3.4 e 3.5.

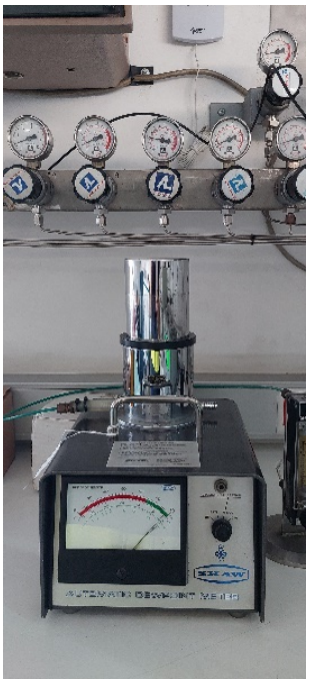


Figura 3.4: Higrómetro presente no laboratório de análises que pertence ao sistema de medição da humidade dos gases.

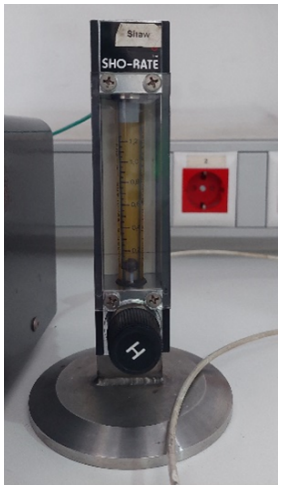


Figura 3.5: Rotâmetro que compõe o sistema de medição da humidade dos gases.

A Tabela 3.1, expressa cálculos efetuados para determinar a exatidão, a precisão e outros parâmetros do higrómetro, uma vez que essa informação não foi encontrada de forma documentada. Para efetuar os cálculos foi necessário conhecer o valor verdadeiro de humidade da amostra (considerada a humidade de uma garrafa analisada noutro centro) e efetuar uma recolha amostral. O valor verdadeiro da humidade contida no gás é de 1,5 ppm. A incerteza relativa associada ao aparelho corresponde à precisão do aparelho e o erro relativo à exatidão da medição.

Tabela 3.1: Medição de parâmetros do higrómetro (número da Amostra (A), valor da Medição (M), Valor Médio (VM), Desvio Absoluto (DA), Incerteza Absoluta (IA), Incerteza Relativa (IR), Erro Absoluto (EA), Erro relativo (ER), Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação(CV)).

A	M (ppm)	VM (ppm)	DA (ppm)	IA (ppm)	IR (%)	EA (ppm)	ER (%)	DP (ppm)	CV (%)
1	1,5		0,18						
2	2		0,32						
3	1,8		0,12						
4	1,7		0,02						
5	1,5	1,68	0,18	0,32	19,05	0,18	12,00	0,19	11,23
6	2		0,32						
7	1,6		0,08						
8	1,7		0,02						
9	1,5		0,18						
10	1,5		0,18						

3.4 Estudo à qualidade da pintura da ogiva

Para que fosse possível realizar o estudo das temperaturas atingidas à superfície da ogiva das garrafas que saem do forno de cura da tinta de corpo, foi necessário um termómetro de medição. O equipamento utilizado foi o termómetro de infravermelhos, da empresa Fluke, modelo Fluke 65 Infrared Thermometer. Este termómetro apresenta-se ilustrado na Figura 3.6.

Este aparelho tem as especificações apresentadas na Tabela 3.2 (disponível em `https://jmtest.com/pictures/272-Fluke-65-Data%20Sheet.pdf`).

Figura 3.6: Termómetro Fluke 65 Infrared Thermometer (figura retirada de https://sasauction.hibid.com/lot/78927675/fluke-65-infrared-thermometer---works/?q=&ref=catalog.)

Tabela 3.2: Informação relativa ao Fluke 65 Infrared Thermometer (adaptada de https://jmtest.com/pictures/272-Fluke-65-Data%20Sheet.pdf).

Gama de medições:	-40 a 500°C
Resolução:	0.1° até 200°, 1° acima 200°
Repetibilidade:	±1° ou ±1%
Exatidão:	Acima de 0°C, ± 2°C (± 4 °F); Abaixo de 0°C, ± 5°C (± 9 °F); (Com instrumentação estabilizada a 23°C ± 3°C)
Resolução ótica:	Razão de 8:1 de distância do alvo
Emissividade:	Fixa a 0,95

3.5 Elaboração das tabelas FMEA

Para a realização das análises de risco recorreu-se à técnica FMEA. Nesta, é importante avaliar os potenciais modos de falha, potenciais causas que os despoletam e os potenciais efeitos que estes provocam. Assim, a Tabela 3.3 é um bom exemplo sintetizado das questões que foram feitas, em cada um dos campos a preencher nas tabelas finais de avaliação do risco realizadas.

Tabela 3.3: Tabela de questões que serviu de *guideline* para a construção das FMEA.

Parâmetro	Questão a fazer
ID	Nº de identificação do problema.
Potencial Modo de Falha	De que modo pode a etapa falhar?
Potencial Efeito de Falha	Qual o impacto da falha no produto final, caso não seja corrigida?
SEVERIDADE (S)	Quão severo é o efeito desta falha no produto final?
Potenciais Causas	Quais as causas que levam a etapa a ser mal executada?
OCORRÊNCIA (O)	Quão provável é que a causa ocorra?
Processos de Controlo Atuais	Quais são as ações de controlo existentes para prevenir que o modo de falha ocorra ou para detetar que possa ocorrer?
DETEÇÃO (D)	Quão provável é a deteção do modo de falha ou da sua causa?
RPN	Risk Priority Number (S x O x D)

Depois de identificar e avaliar o risco, foi necessário propor ações de mitigação para que os potenciais modos de falha sejam evitados ou eliminados. Dessa forma, foi elaborada outra tabela na qual constam as ações de mitigação, os novos níveis de cada um dos parâmetros e respetivo RPN, a percentagem de redução do risco, a contribuição para o risco total e o custo estimado, baseado na escala quantitativa presente na Tabela 3.7.

Critério qualitativo	Escala
Muito elevado	100
Elevado	80
Médio	60
Moderado	40
Baixo	20
Nulo	0

Figura 3.7: Equivalência entre escala qualitativa e escala quantitativa criada para o estudo do custo associado à implementação das medidas de mitigação.

4

Apresentação e Discussão de Resultados

4.1 Catálogo Ibérico

De maneira a conhecer as gamas comercializadas pela ALI, é importante que se conheça o mercado alvo e os produtos comercializados e distribuídos no território ibérico. Para conhecer o portfólio de produtos foi necessário efetuar uma revisão ao catálogo de produtos ibéricos.

Para poder perceber quais os produtos ou gama de produtos mais críticos para a humidade, foi necessário reunir e dimensionar a quantidade de produtos que são abrangidos pela preparação de embalagens tratadas no *site* CMD.

Igualmente para o caso da pintura, é crucial conhecer e estudar quais as cores de ogiva para cada um dos produtos AL e quais os tipos de acessórios e gravações que compõem a ogiva e a parte superior da garrafa de gás.

O estudo prévio das gamas de produtos disponíveis consistiu num ponto importante para a inserção na conjuntura em que a ALI se insere e contribuir fundamentalmente para a melhoria dos processos de manutenção de embalagens de alta pressão.

Para tal, foi concebido um catálogo ibérico, no qual constam os produtos comercializados pela ALI, incluindo as etiquetas que lhes devem ser atribuidas e as válvulas correspondentes.

4.1.1 Catálogo Ibérico Etiquetas Banana

Foram reunidas as etiquetas presentes no armazém do *site* e recolhidas as informações que estas continham.

Foi elaborada uma base de dados com a informação contida em cada uma das etiquetas banana que contém as seguintes componentes:

- Número de modelo da etiqueta e sua última revisão;
- Nº de modelo da etiqueta e sua última revisão;
- Nome do produto na AL;
- Composição do produto na AL;
- Informação sobre a empresa AL;

- Recomendações de uso;
- Palavra "ATENÇÃO" ou "PERIGO";
- Número CE de identificação do produto;
- Contacto de Emergência
- Aviso Legal;
- Número UN de identificação do produto;
- Frases de atenção ou perigo;
- Aplicação (opcional);
- Frase "Produto conforme a norma…" (opcional);
- Logotipos referentes à empresa e à gama do produto na AL (opcional);

Os modelos de cada etiqueta banana foram associados aos números de identificação interna dos produtos AL (identificação em SAP) que são preparados no CMD.

As etiquetas presentes em armazém continham 78 anomalias que não interferem com a distribuição dos produtos mas que são identificadas como pontos de melhoria.

Com recorrência à ferramenta *Excel* do *software Microsoft Office*, foi possível desenvolver um programa de etiquetas banana que tem como principal objetivo fornecer suporte no controlo das etiquetas disponíveis no armazém do CMD e, potencialmente pertencer ao controlo de *stock* que existe no centro.

Por outro lado, as informações relativas ao número do modelo da etiqueta, uma imagem da etiqueta e o nome do produto foram cruzadas com a informação do catálogo ibérico principal, de forma a adicionar esta informação ao mesmo.

4.1.2 Catálogo Ibérico Tipo de Válvulas

Os tipos de válvulas identificadas variam consoante as gamas comercializadas pela empresa, havendo a necessidade de incluir a válvula indicada ao tipo de gás e ao tipo de garrafa.

No que concerne ao tipo de gás ou ao tipo de mistura de gases, está normalizado que a válvula aplicada tem de ser compatível com o este e que proteja a embalagem dos fatores externos e previna o esvaziamento do gás nela contido para o exterior.

Relativamente ao tipo de embalagem é importante perceber qual o seu volume, qual o seu material de construção (devido ao binário de aperto a usar) e qual o tipo de rosca que esta tem para que a válvula seja adequada à aplicação que irá servir.

4.2 Gestão de Risco: Especificação de Humidade de uma Garrafa

Numa perspetiva direcionada para a empresa e distribuição dos gases, há que providenciar uma variada gama de produtos para os diferentes mercados de forma a deter diversas qualidades de produtos que sejam mais ou menos indicados para determinadas aplicações. É muito importante que o leque de produtos apresentado pela AL seja motor da evolução dos processos que fazem uso dos mesmos, bem como da própria Indústria dos Gases que se tem vindo a alterar ao longo dos tempos.

Do ponto de vista do cliente, existe uma constante exigência por parte de novas aplicações, as quais dependem tanto das matérias primas que podem conceber os produtos como dos materiais ou matérias utilizados para os conceber, seja para prestar serviços ou para criar determinadas condições favoráveis aos processos.

Assim, é extremamente importante atender às exigências dos mercados a jusante e permitir as condições necessárias para que os mesmos não sejam afetados negativamente.

O *site* CMD é o único centro ibérico interno no qual se efetuam requalificações a embalagens que podem servir todo o tipo de gamas AL comercializadas neste contexto territorial, pelo que, existindo uma elevada procura, existe uma necessidade de requalificação maior para permitir que as garrafas recarregáveis continuem ao serviço.

Para avaliar o risco associado aos trabalhos presentes no circuito de manutenção procedeu-se a uma análise de risco que deverá identificar potenciais modos de falha para as garrafas que estão ao serviço de gases ou de misturas de gases. Para todos os tópicos de discussão, são discutidos os piores casos.

4.2.1 Caso de Estudo e Construção da Análise de Risco

Considere-se uma embalagem de gás comprimido que chegue ao CMD para efetuar a requalificação. Esta embalagem pode ser uma garrafa de gás comprimido individual ou um conjunto de garrafas que constitui um quadro, como anteriormente referido.

Para ambos os casos, a primeira etapa de intervenção consiste em obter as garrafas de gás comprimido no seu estado individual. As garrafas de gás que já vêm neste estado, seguem diretamente para o circuito de manutenção. Para estas garrafas serem tratadas, é necessário que se retire a sua válvula. Portanto, para verificar se existe gás no seu interior, procede-se a um "teste de azoto"; caso se conclua que não tem gás, é-lhe retirada a válvula, com o auxílio de uma máquina de desaperto de válvulas. No caso dos quadros de garrafas, é necessário proceder à sua desmontagem de forma manual: inicialmente procede-se à desmontagem da estrutura que protege as garrafas, nomeadamente da sua parte superior, que protege a estrutura que encaminha o gás para a válvula de saída e a própria válvula; seguidamente efetua-se o teste do azoto para perceber se existe gás no interior das garrafas; caso estas não contenham gás, procede-se à remoção manual da armação e da válvula (peça única) e removem-se as garrafas sucessivamente da estrutura

do quadro; finalmente, encaminham-se as garrafas para o local onde as garrafas de gás individuais sem válvula se encontram. Entende-se que se pode considerar uma garrafa de gás como parte integrante de uma embalagem de alta pressão, pelo que, seguindo o circuito de manutenção, as únicas etapas de preparação ou reparação de embalagens que diferem são as iniciais e as finais.

Importa referir que o processo de secagem que ocorre depois do *testing*, é o processo que deve, em maior peso, contribuir para a remoção da humidade interna da garrafa. Este consiste na insersão de umas varetas que canalizam ar quente comprimido sob forma de jato de impacto para o interior da garrafa. A aerodinâmica criada no seu interior permite que ocorram as transferências de massa e de calor e que a garrafa vá, ao longo da operação, diminuindo o seu conteúdo de humidade.

Recorreu-se à técnica FMEA para proceder a uma análise de risco completa e que analisasse da forma mais realista os modos de falha identificados a partir do momento em que a superfície interna de uma garrafa de gás, sujeita ao circuito de requalificação, se encontra exposta, isto é, desde a remoção da válvula até ao momento da montagem de uma nova válvula.

Ao longo do estágio realizado no CMD, foi possível identificar 212 potenciais modos de falha, presentes no circuito de requalificação de uma garrafa de gás a alta pressão.

De modo que a análise de risco fosse efetuada de forma adequada, foi concebida uma equipa para o *brainstorming* com os seguintes elementos integrados:

- Engenheiro Roberto Barata, responsável pelos processos de manutenção e enchimento ocorridos no CMD;
- Engenheiro Nuno Esteves, responsável pelo *testing* em território ibérico;
- A equipa multidisciplinar de manutenção do CMD composta pelos Responsáveis de Produção (RPs): Luís Fonseca, Carlos Mesquita, Bruno Moreira, António José Oliveira, Bruno Marques, Sandro Gamboa e Ruben Carvalho;
- Engenheiro Diogo Serrano.

Assim, foi possível conceber três escalas de níveis para a os diversos parâmetros de avaliação do risco (ver Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3).

Para cada um dos modos de falha foram decididos os parâmetros de avaliação do risco, em concreto, a severidade, a ocorrência e a deteção, bem como as diversas causas que os podem originar, o efeito do modo de falha, os métodos de controlo atuais apresentados pela empresa e o RPN. Os resultados obtidos para cada modo de falha podem ser visualizados no Apêndice B.

O estágio presencial no CMD e o *brainstorming* diário proporcionado com base na experiência da equipa de manutenção permitiu identificar diversos modos de falha bem como determinar o nível do parâmetro da ocorrência.

Tabela 4.1: Níveis para o parâmetro severidade (S) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

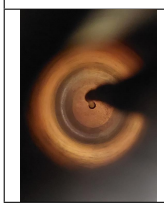
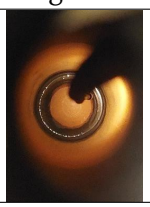
Escala de níveis para o parâmetro S (severidade)				
1	2	3	4	5
Seca	Com vestígios de água	Água no estado vapor	Água líquida condensada nas paredes da garrafa	Água líquida nas paredes e no fundo da garrafa
	-	-	-	

Tabela 4.2: Níveis para o parâmetro ocorrência (O) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Escala de níveis para o parâmetro O (ocorrência)				
1	2	3	4	5
Nunca	Trimestral	Mensal	Semanal	Diária

Tabela 4.3: Níveis para o parâmetro deteção (D) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Escala de níveis para o parâmetro D (deteção)				
1	2	3	4	5
Sempre	Frequente	Ocasional	Rara	Nunca

4.2.2 Etapas do Circuito com maior Influência na Humidade e Oportunidades de Melhoria

Para perceber quais são as etapas com maior número de modos de falha, com maior número de causas para os modos de falha e com maior RPN (médio), procedeu-se à construção do gráfico de síntese ilustrado na Figura 4.1.

De modo a definir os planos de ação para cada uma das etapas, definiram-se prazos de ação consoante a gravidade do risco. Estes, podem ser visualizados na Tabela 4.4 e estão presentes na Figura 4.1.

Tabela 4.4: Limites e prazos de ação para os diferentes RPN (média) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Limites de ação	<15	15-19	20-24	≥ 25
Prazos de ação (RPN)	12 meses	10 meses	8 meses	6 meses

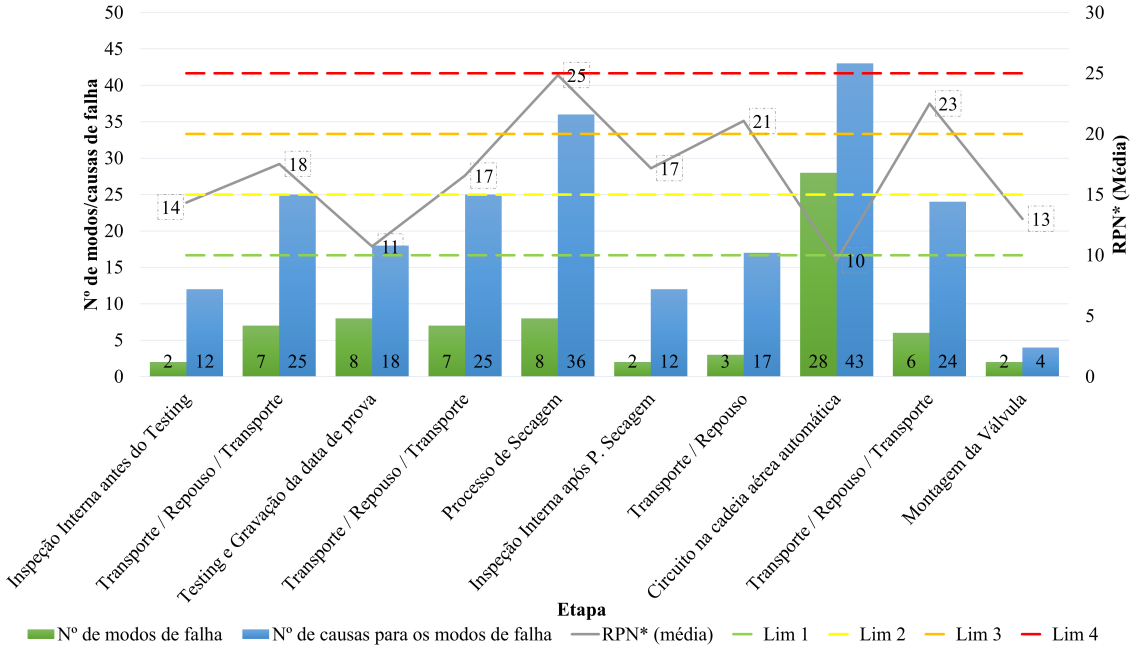


Figura 4.1: Gráfico síntese da FMEA efetuada à humidade contida numa garrafa de gás tratada no CMD.

Através da visualização do gráfico, é possível perceber que as etapas integradas no circuito de requalificação com maior impacto para a humidade contida no interior da garrafa são os transportes e repouso das garrafas, com maior expressão no risco para os casos que procedem o processo de secagem. Todas as etapas de transporte e repouso têm um número considerável de potenciais modos de falha e suas potenciais causas, bem como um RPN (médio) elevado.

É possível verificar que a etapa com menor impacto na humidade é a que inclui os processos ocorridos no circuito da CAA, apesar de, devido à sua dimensão, ser a etapa com maior representação nos modos de falha e suas potenciais causas. Por outro lado, a etapa representada pelo processo de secagem é a que tem maior número de causas para os modos de falha que detém e a única que se encontra no nível máximo de limite de ação e que, consequentemente, requer um menor prazo de atuação.

Quanto às etapas de transporte e repouso da garrafa anteriores ao *testing* e ao processo de inspeção interna que ocorre depois da secagem, também se encontram com um risco elevado e merecem análise mais detalhada sobre os seus modos de falha. No caso do processo de inspeção, apesar de ter dois modos de falha, existe uma influência significativa na humidade contida na garrafa de gás, representada pelo seu RPN (médio).

A inspeção interna da garrafa anterior ao *testing*, o *testing* e a gravação da garrafa têm um prazo de ação maior, no entanto, apresentam um número considerável de causas para os modos de falha que apresentam. Por fim, a montagem da válvula tem um prazo de atuação igual ao das etapas anteriormente mencionadas e tem apenas dois potenciais modos de falha.

4.2.3 Identificação dos modos de falha mais críticos

No sentido de se averiguar quais os potenciais modos de falha com maior expressão na análise de risco efetuada, foram seguidas duas abordagens: considerando os três parâmetros, isto é, considerando o valor do RPN; e considerando apenas dois parâmetros, nomeadamente, a severidade e a ocorrência de cada um dos modos de falha, um medidor de risco denominado por criticidade.

Abordagem pelo RPN

Como referido na Secção 2.5, a categorização dos modos de falha pode ser efetuada através do valor do RPN e da definição da categoria de prioridade. Sabe-se que quanto mais elevado se encontra o RPN de um determinado modo de falha, maior se torna a prioridade em definir ações de mitigação que possam minimizar a potencialidade do mesmo ocorrer.

Considerando o que foi exposto na Secção 2.5, é possível definir um limiar de RPN a partir do qual o risco é considerado crítico, o "RPN threshold". Sabe-se que, quando dois dos parâmetros estão simultaneamente nos seus níveis máximos, o modo de falha torna-se crítico. Com base nisso, considerou-se que para RPN equivalentes a 25 (5 x 5) ou superiores, quaisquer que sejam os parâmetros maximizados, o modo de falha tem um risco extremamente elevado. Sobre esta condição, foram sinalizados 14 modos de falha muito críticos, o que corresponde a 6,6% dos modos de falha totais.

Abordagem pela criticidade

Com base na argumentação de que o RPN pode vir a "camuflar" riscos prioritários, foi feita uma análise de risco tradicional baseada na criticidade dos modos de falha. Para a determinação da criticidade, foram definidos os valores a partir do qual a criticidade aponta o modo de falha como extremamente elevado. O critério, foi semelhante, ao do RPN, e considerou-se, que quando os parâmetros de severidade e de ocorrência estão nos seus níveis mais altos, o modo de falha é crítico. Assim, foi considerado o exemplo da Secção 2.5 e considera-se a criticidade de risco para valores superiores a 16 (4 x 4).

Após efetuar a análise de criticidade, percebeu-se que os modos de falha já estão incluídos nos modos de falha identificados pelo RPN, como se pode perceber pelo esquema da Figura 4.2.

A razão que permite que hajam mais modos de falha críticos seguindo uma abordagem pelo RPN do que seguindo uma abordagem pela criticidade é a falta de deteção que permite um nível mais elevado para este parâmetro e está relacionada com as ações que a empresa tem para evitar que o potencial modo de falha ocorra. Esta diferença apresenta-se ilustrada na Figura 4.3.

Assim, prevêm-se melhorias a nível da deteção, para os modos de falha que não são identificados na criticidade mas que são de risco extremo.

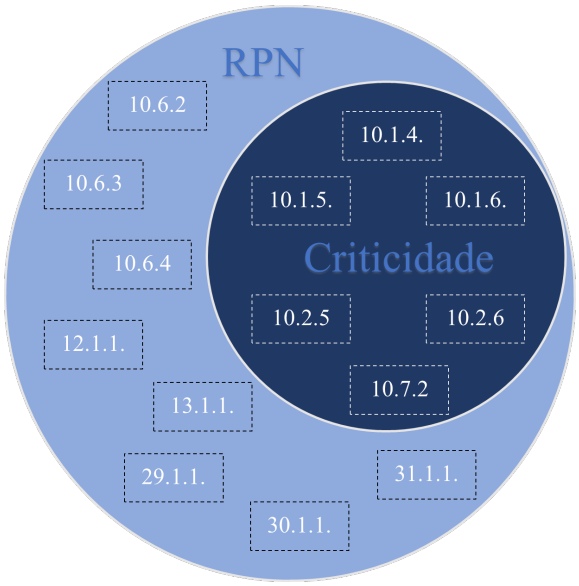


Figura 4.2: Esquema de inserção dos casos mais críticos.

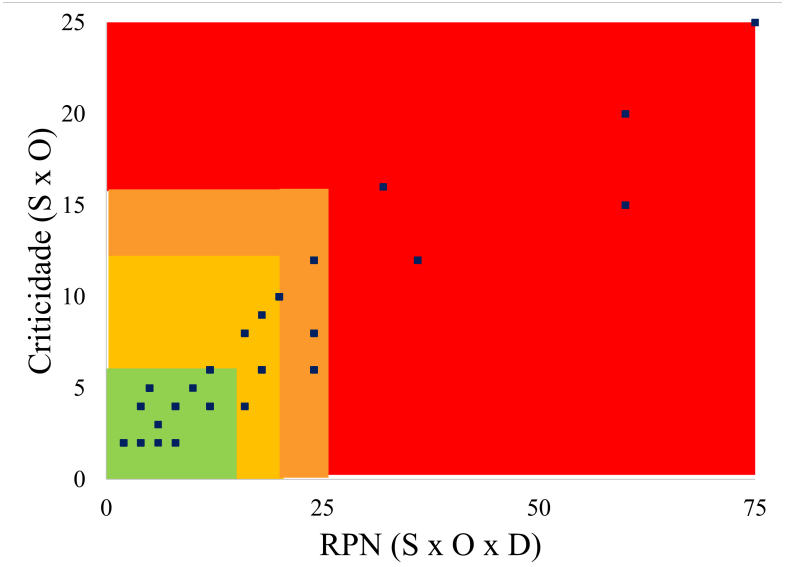


Figura 4.3: Criticidade *versus* RPN para a FMEA da humidade contida da garrafa de gás.

Modos de falha muito críticos

Para a análise de risco, é importante proceder a uma avaliação mais detalhada dos modos de falha mais críticos e propor ações de mitigação para diminuir a expressão do seu risco. Seguem-se, nas Tabelas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9, com os modos de falha considerados com risco extremamente elevado para a humidade contida no interior de uma garrafa de gás.

Tabela 4.5: Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 1/5).

Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.1.4**	Corrente de ar comprimido com baixo caudal	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	5	Tamanho da vareta (há varetas com comprimentos maiores e outras com menores)	5	Sem controlo	3	75
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.1.5**	Corrente de ar comprimido com baixo caudal	A garrafa não é bem seca ou atraso no processo	5	Posicionamento demasiadamente centralizado/de lado da vareta faz com que a saída da mesma seja ligeiramente obstruída (principalmente nas de menor capacidade)	4	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 O operador apercebe-se e tenta posicionar a vareta	3	60
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.1.6**	Corrente de ar comprimido com baixo caudal	A garrafa não é bem seca ou atraso no processo	5	Posicionamento demasiadamente centralizado da vareta faz não potencia a transferência de massa nas partes mais fundas da garrafa (convexa)	4	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 O operador apercebe-se e tenta posicionar a vareta	3	60

Tabela 4.6: Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 2/5).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.2.5**	Corrente de ar comprimido com temperatura não conforme	Corrente de ar comprimido com temperatura não conforme	5	Tubagem e mangueiras não isoladas termicamente que faz com que o calor se dissipe mais facilmente	5	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 Manutenção periódica	3	75
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.2.6**	Corrente de ar comprimido com temperatura não conforme	Corrente de ar comprimido com temperatura não conforme	4	Tubagem metálica e mangueiras e conectores com falta de manutenção (e.g. não indicadas/ fora da validade)	5	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 Manutenção periódica	3	60
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.6.2**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	5	Tempo de secagem insuficiente	3	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	4	60

Tabela 4.7: Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 3/5).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.6.3**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	5	Temperatura insuficiente	3	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	4	60
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.6.4**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	5	Caudal de ar insuficiente	3	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	4	60
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.7.2**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	4	Pressuposto de que não existe corrosão na parte superior da garrafa	4	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20 Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	2	32

Tabela 4.8: Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 4/5).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Transporte da garrafa desde o local de secagem até perto da cadeia aérea automática	**12.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	**4**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à secagem) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**36**
Repouso da garrafa antes de entrar na cadeia aérea automática	**13.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renvação do ar e condensação nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Algumas garrafas são tapadas logo após a secagem Encaminhamento para a cadeia automática aérea	**3**	**36**
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até perto do local de montagem da válvula	**29.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	**4**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à secagem) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**3**	Sem controlo	**3**	**36**

Tabela 4.9: Modos de falha mais críticos para a humidade da garrafa de gás (Parte 5/5).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Repouso da garrafa antes de colocar a válvula	**30.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**36**
Transporte da garrafa até ao local de colocação da válvula	**31.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	**4**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à secagem) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**36**

A partir das tabelas apresentadas, é possível perceber o impacto notório que o processo de secagem tem na humidade contida no interior da garrafa. A dinâmica que ocorre no processo de secagem consiste numa parte preponderante para atingir o nível residual de partículas de água no interior da garrafa. Adicionalmente, todos os fenómenos que possam ocorrer no interior da garrafa durante a secagem, nomeadamente, transferências de massa e de calor, devem ser maximizados através da imposição das condições necessárias para que essa situação se efetive. A secagem com convecção forçada é uma forte e importante condição da secagem. A condição de temperatura, tem igualmente uma forte influência na performance da secagem.

4.2.4 Estudo dos modos de falha e suas potenciais causas

4.2.4.1 Contaminantes e corrosão presentes no interior da garrafa

Uma das principais origens da contaminação e da corrosão é a combinação gerada pela água em contacto com o gás. Existem condições que se conseguem criar para que esta situação seja evitada, no entanto, as condições de pressão e de temperatura a que uma garrafa de gás comprimido é sujeita ao longo da sua vida de serviço é desfavoravelmente prejudicial para a potenciação deste efeito adverso.

Contaminantes

Quando uma garrafa de gás comprimido chega ao CMD para ser requalificada, deve ser averiguada a existência de objetos estranhos no seu interior. Como exemplos de incidências passadas onde se detetaram matérias no interior das garrafas tem-se: lâmpada ou parte da mesma proveniente do sistema de inspeção, tubos de sonda em garrafas de gases liquefeitos (de inox, latão ou *teflon*) soltos da componente de aperto na válvula, *teflon* proveniente da rosca da válvula (muito típico), resíduos de granalha provenientes do processo de decapagem, impurezas provenientes de processos de manutenção, retorno de líquidos provenientes das aplicações dos gases, gorduras, água. Para evitar este tipo de modos de falha é fundamental que se proceda às seguintes medidas, de forma contínua:

- a contínua revisão do rigor técnico dos processos de manutenção, sejam estes por reparação ou por requalificação;
- a retificação do correto funcionamento e da conformidade dos equipamentos utilizado nos processo de manutenção;
- a utilização, cada vez mais recorrente, de válvulas RPV-NRV, que possam prevenir a entrada de contaminantes no interior da garrafa. Estes podem ser originários da própria aplicação ou da eventual exposição da garrafa às condições atmosféricas adversas;

- o reforço na sensibilização do cliente e a sugestão de equipamentos que são acoplados às garrafas de gás que evitem o retorno de matérias para o interior da garrafa de gás.

O contaminante conhecido como o mais resistente é o mercaptano (tiol) e pode ser facilmente detetado pelo cheiro.

As fontes de contaminação por humidade são um risco que a garrafa de gás tem de enfrentar ao longo da sua vida ao serviço, no entanto, pode ser evitado ao máximo sem que o manuseio e utilização da garrafa comprometa a integridade do seu conteúdo.

Corrosão

A longevidade que uma garrafa tem ao serviço pode ser muito alargada, no entanto, é certo que o seu estado externo e interno se vem a agravar à medida que esta vai transportando gases (havendo diferenças se estes forem de maior perigosidade) e vai sendo sujeita a um maior número de manutenções.

A corrosão é uma das maiores causas da falha de garrafas de alta pressão e é potenciada por diversos fatores. Diversos estudos foram feitos a garrafas de gás comprimido para tentar entender qual a influência da corrosão interna na inclusão de gases e de impurezas.

A nível prático, 95% dos defeitos da superfície interna causados pelo desgaste, localizam-se no fundo da garrafa. Neste sentido, a atenção deve estar voltada para este local, sem que se negligenciem outros locais que possam ser igualmente afetados.

4.2.4.2 Filme de água criado na garrafa após o *hydrotesting* e oxigénio atmosférico

No CMD, o processo de *testing* consiste na prova hidráulica, na qual as garrafas de gás são cheias com água e são submetidas a uma elevada pressão. Após o teste estar completo e as garrafas terem passado a prova de esforço, com um resultado positivo, são gravadas com a data da prova e são vertidas. Para tal, injeta-se ar no seu interior, de forma que a água saia a elevada velocidade. No entanto, a máquina de inversão está programada com um determinado tempo, e não demoram muito tempo nesta etapa de vazamento. Assim, existe sempre alguma água líquida residual que fica no seu interior, criando uma película de água nas suas superfícies internas, pelo que é importante que as mesmas passem por um processo de secagem que remova esta água líquida. A água residual, presente no interior da garrafa, forma o denominado filme (mencionado na secção 2.3.2.1) que terá tendência a se acumular, por ação da gravidade, no fundo da garrafa.

É necessário ter a perceção de que na prova hidráulica, a garrafa é sujeita a uma pressão elevada (300 bar e 400 bar) e que a sua temperatura aumenta, apesar da posterior descompressão e finalização do processo de *testing* que envolve esvaziar a garrafa.

Este estado da superfície da garrafa é extremamente importante para as etapas que sucedem até ao processo de secagem, uma vez que a água líquida contida no interior da garrafa irá ter tendência de condensar na parte interna superior da garrafa, devido ao

gradiente de temperaturas existente entre o exterior e o interior das garrafas. Por outro lado, como descrito na secção 2.3.6.1, após a exposição da garrafa ao ar atmosférico, existe a propensão à formação de processos de oxidação, visto que existe o contacto entre a água, o metal e o oxigénio molecular do ar. Numa superfície que já tenha determinado nível de corrosão, existe uma maior probabilidade de acontecer o fenómeno oxidativo.

4.2.4.3 Estudo do impacto das condições atmosféricas na humidade contida na garrafa

Nos modos de falha identificados como mais críticos são apresentados problemas que se relacionam com a exposição da garrafa ao ar atmosférico, após o processo de secagem.

Como apresentado ao longo deste projeto, a atmosfera tem um impacto preponderante na especificação do produto final devido a permitir a ocorrência de adsorção e desadsorção e a entrada de contaminantes e a possível corrosão nas paredes internas da garrafa.

Os processos de *testing* e de secagem são processos que contribuem para a lavagem da garrafa, pelo que é importante que a condição interna atingida no final da secagem se mantenha até que a válvula seja colocada. No entanto, devido ao seguimento do circuito de manutenção não é possível que o processo de montagem da válvula seja realizado logo após o processo de secagem para garrafas que sejam pintadas na CAA, ou seja, garrafas de aço.

Através de cálculos psicrométricos, foi possível efetuar um estudo ao impacto das condições atmosféricas na humidade contida no interior de uma garrafa de gás B50. Para tal, foram seguidos os passos definidos no ponto 3.2.

O primeiro estudo visa a determinação do impacto da renovação do ar que está contido no interior da garrafa de gás no momento em que esta se encontra exposta à atmosfera envolvente. Foram feitos estudos para os três últimos anos (2018, 2019 e 2020) e foi possível obter os gráficos que está ilustrados nas Figuras 4.4, 4.5, e 4.6.

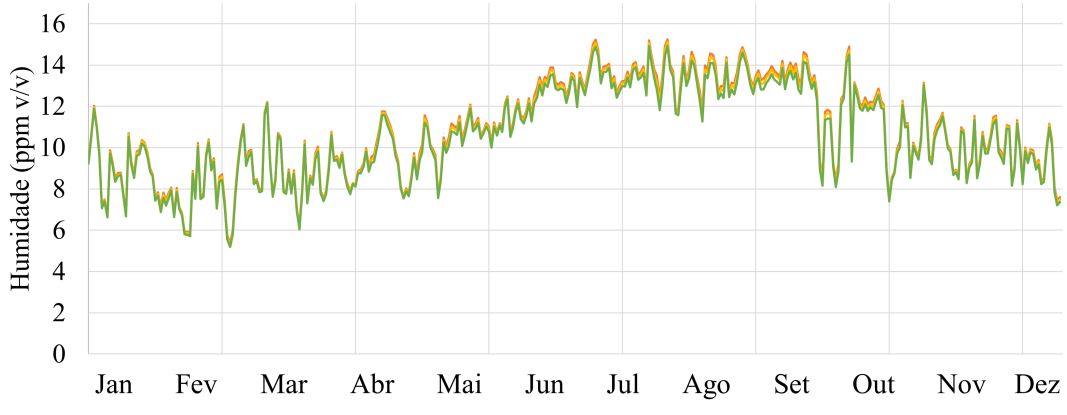


Figura 4.4: Estudo aos ppm de humidade que estão no ar contido no interior de uma garrafa B50 exposta (ano de 2018).

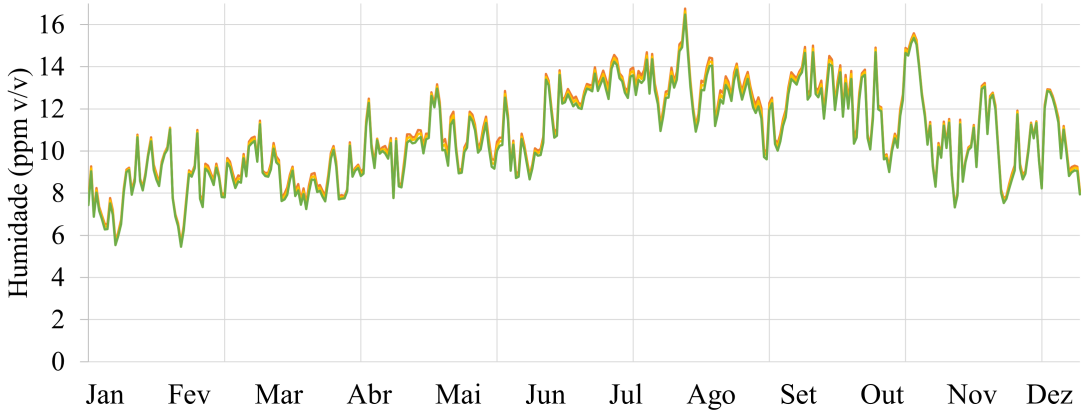


Figura 4.5: Estudo aos ppm de humidade que estão no ar contido no interior de uma garrafa B50 exposta (ano de 2019).

Figura 4.6: Estudo aos ppm de humidade que estão no ar contido no interior de uma garrafa B50 exposta (ano de 2020).

O segundo estudo prevê a condensação ocorrida nas paredes da garrafa de gás exposta, quando a mesma fica com o ar contido no seu interior (com os ppm de humidade anteriormente apresentados) e as suas paredes arrefecem até ao ponto em que ocorre a condensação de gotículas de água. Primeiramente, o primeiro passo permitiu a construção da curva de saturação da carta psicrométrica, com uma boa aproximação, para as temperaturas compreendidas entre os 0ºC e os 30ºC (ver Figura 4.7).

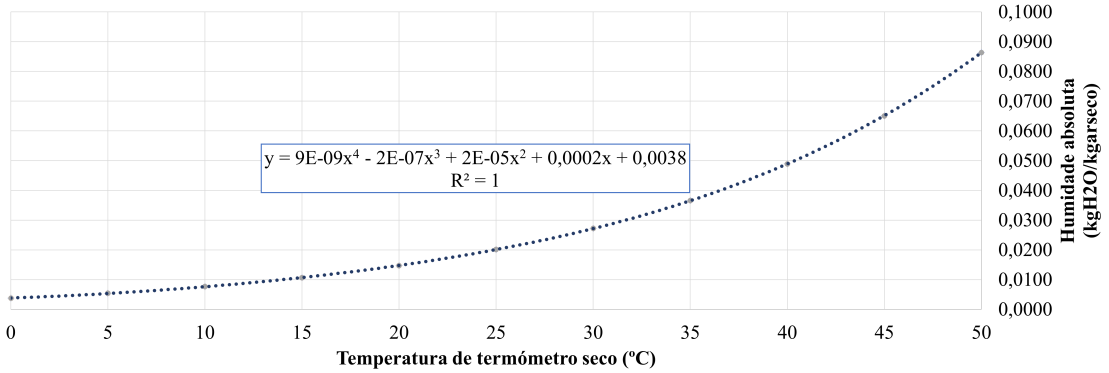


Figura 4.7: Aproximação da curva de saturação presente na carta psicrométrica a uma polinomial de 4ºgrau, para o intervalo de temperaturas (0-50)ºC.

Os restantes passos, permitiram determinar os valores de condensação ocorridos para garrafas expostas durante um dia pertencente a um dos três últimos anos e cujas paredes arrefeceram durante a noite. Em síntese, a tabela seguinte apresenta os resultados obtidos:

Tabela 4.10: Síntese dos resultados obtidos para a condensação das paredes de uma garrafa exposta durante o dia que arrefece à noite, para os anos 2018, 2019 e 2020.

Ano	Percentagem dos dias do ano nos quais condensou água nas paredes da garrafa	Meses mais críticos
2018	19%	Jan, Mar, Dez
2019	17%	Jan, Nov, Dez
2020	20%	Jan, Fev, Nov, Dez

A partir dos dados obtidos, foi possível comparar as quantidades de humidade contidas nas garrafas expostas no circuito de manutenção do *site* CMD, com os limites máximos de conteúdo da água, apresentados nas folhas de descrição dos produtos comercializados pela AL. Com esse intuito, consideraram-se os valores apresentados no *website* interno da Air Liquide "My Products". A tabela presente no Apêndice C, sintetiza os conteúdos de água máximos (a 5 bar) apresentados para 65 produtos AL. Os dados obtidos permitiram obter:

- 6 produtos, com limite $H_2O < 0{,}5$ ppm (v/v);
- 6 produtos, com limite $H_2O < 3$ ppm (v/v);

- 12 produtos, com limite $H_2O < 5$ ppm (v/v);
- 1 produtos, com limite $H_2O < 6$ ppm (v/v);
- 2 produtos, com limite $H_2O < 10$ ppm (v/v);
- 1 produtos, com limite (H_2O+ O_2) < 10 ppm (v/v);
- 1 produtos, com limite $H_2O < 20$ ppm (v/v);
- 18 produtos, com limite $H_2O < 40$ ppm (v/v);
- 10 produtos, com limite $H_2O < 50$ ppm (v/v);
- 3 produtos, com limite $H_2O < 67$ ppm (v/v);
- 4 produtos, com limite $H_2O < 200$ ppm (v/v);
- 1 produtos, com limite $H_2O < 500$ ppm (v/v).

A partir dos limites máximos de humidade, foram cruzadas as informações, obtendo-se os gráficos que se seguem nas Figuras 4.8, 4.9 e 4.10:

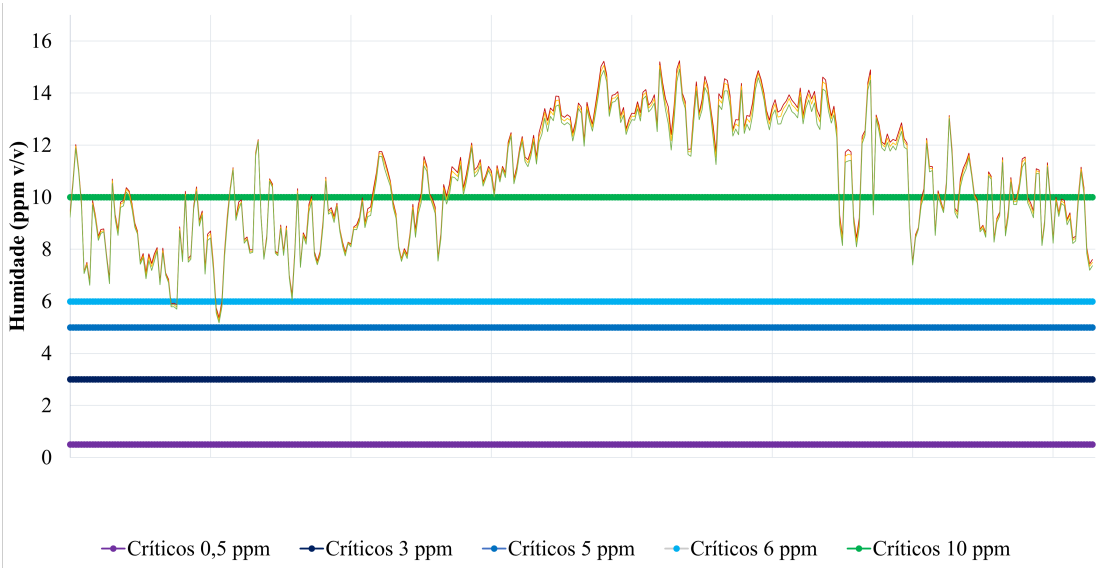


Figura 4.8: Estudo aos ppm de água que estão contidos no interior da garrafa exposta *versus* os ppm permitidos pelas especificações dos produtos AL (ano de 2018).

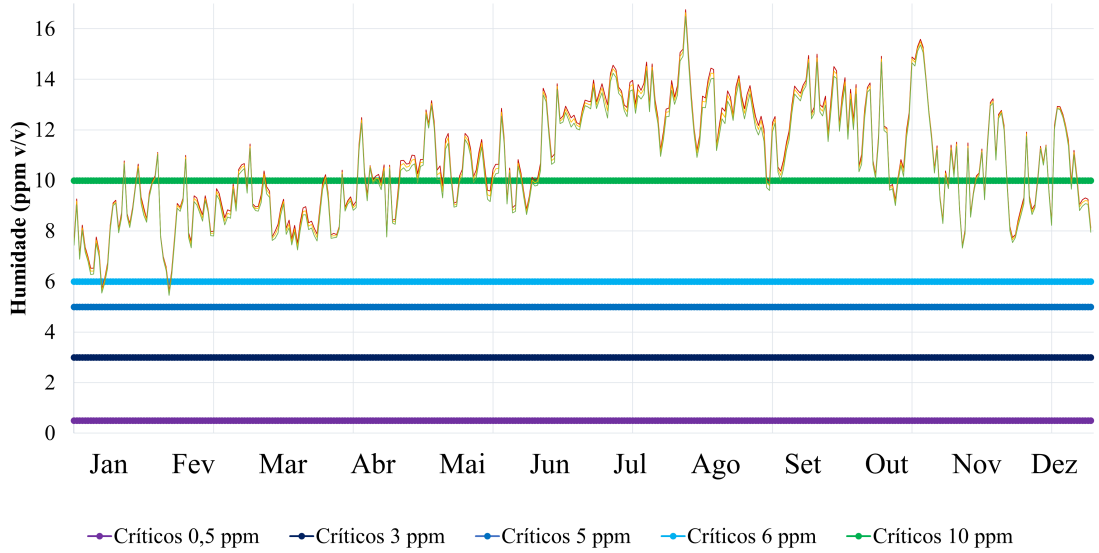


Figura 4.9: Estudo aos ppm de água que estão contidos no interior da garrafa exposta *versus* os ppm permitidos pelas especificações dos produtos AL (ano de 2019).

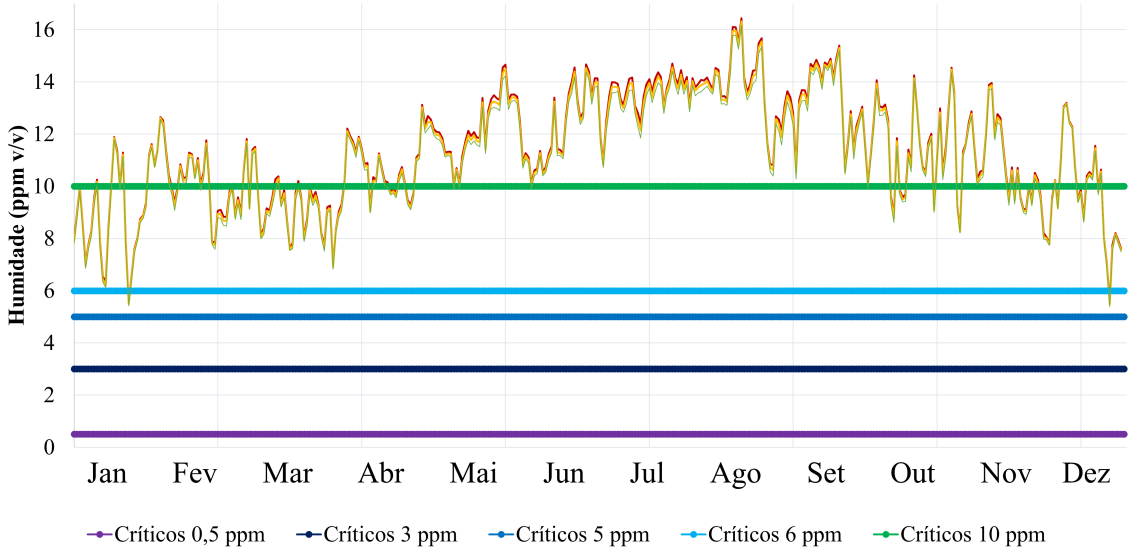


Figura 4.10: Estudo aos ppm de água que estão contidos no interior da garrafa exposta *versus* os ppm permitidos pelas especificações dos produtos AL (ano de 2020).

A análise dos três gráficos permite comprovar o impacto provocado na humidade contida no interior da garrafa de gás exposta num determinado dia, apenas tendo em consideração o ar incluído no interior da garrafa. É clara a evidência de que os produtos com limite $H_2O < 10\ ppm\ (v/v)$ cuja embalagem passou pelo circuito do CMD, exposta às condições atmosféricas, apresentam-se fora da especificação. Isto corresponde a 15 produtos AL.

Com o objetivo de elaborar uma tabela de classificação dos produtos considerados, consoante o risco associado a cada um deles, elaborou-se uma escala, baseada nos resultados, para avaliar quão crítico é para o produto se a garrafa encontrar exposta às condições atmosféricas (ver Tabela 4.11).

Tabela 4.11: Escala de classificação de gases em relação à preparação das garrafas.

Escala	**Classificação**	**Intervalo** $(ppmv/v)$
1	Muito Crítico	$\leqslant 10$
2	Crítico	$10 < x < 100$
3	Pouco Crítico	≥ 100

Deste modo, conclui-se que as garrafas tratadas no CMD não podem estar expostas às condições atmosféricas durante o circuito de manutenção se vão servir: a gama de gases e misturas de gases **Alphagaz** e os produtos **Arcal 1**, **Arcal Prime**, **Lasal 1**, **Lasal 4**, **Lasal 81**, **Lasal 2001**, **Lasal 2003**, **Noxal 7**, **Formiergas 5**, **CO_2 R744**, **Oxigénio de Aviação** e **3D Heat Mix 2,9% H_2**. O Apêndice C, apresenta a tabela de classificação obtida.

De entre os produtos mencionados, o centro de enchimento que está localizado em Arruda dos Vinhos e para o qual seguem as garrafas que completam o circuito de requalificação para o serviço, são cheios os seguintes produtos: **Alphagaz 1 Ar**, **Aphagaz 1 O_2**, **Alphagaz 1 N_2**, **Arcal 1**, **Arcal Prime** e **CO_2 R744**. Estes são considerados casos de elevado risco.

Em 2019, o *site* CMD teve a seu cargo a preparação de 5373 embalagens de produtos **Alphagaz 1**, **Aphagaz 2**, **Arcal 1**, **Arcal Prime**, **H_2O R744**, **Lasal 2001** e **Lasal 2003**, entre as quais garrafas e quadros de garrafas, o que corresponde a cerca de 17% das embalagens totais preparadas nesse mesmo ano.

É importante referir que os produtos **Alphagaz 2** são cheios nos "centros Alphagaz"que garantem um produto conforme, ao submetê-lo ao tratamento térmico. Existem igualmente outros produtos que passam pelos processos de eliminação de contaminantes antes de serem comercializados. Assim, relativamente, a estes produtos não existe risco de contaminação por água. Apesar disso, reforça-se a necessidade do controlo mais rigoroso da monitorização da qualidade do gás, também como forma de evitar a degradação da estrutura das garrafas de gás.

4.2.4.4 Dinâmica criada no interior da garrafa durante o Processo de Secagem

Quando saem do processo de *hydrotesting*, as garrafas de gás encontram-se com uma quantidade de água líquida no seu interior, pelo que existe a necessidade de secar o seu interior de forma a obter uma garrafa com as paredes completamente secas. Como referido na secção 2.1.7 deste projeto, após as garrafas serem vertidas, existe um "filme de água"que se encontra na superfície interna da garrafa de gás e, esta tende a depositar-se por ação da gravidade no fundo da mesma.

No momento zero da secagem, ou seja, antes de se dar início à mesma, considera-se que o ar que está incluído na mesma está saturado, ou seja, possui 100% de humidade relativa. À medida que a secagem se vai dando, as partículas de água tendem a passar para a fase gasosa e são levadas pelo fluxo do ar seco quente projetado no interior da garrafa. Admite-se que o fluxo é laminar junto das paredes internas, uma vez que se considera que a pressão é de aproximadamente 6 bar, devido ao compressor ter uma pressão média de 6 a 8 bar e não se considerarem grandes perdas de carga na tubagem.

Com a pressão considerada, prevê-se uma velocidade do fluxo de ar seco quente elevada e isto permite que se crie uma aerodinâmica convectiva forçada no interior da garrafa. Por sua vez, isto permite uma secagem mais rápida e eficiente.

O parcial ou total bloqueio desta dinâmica forçada, por exemplo, pela a diminuição da velocidade de projeção do ar, faz com que alguns modos de falha se efetivem e as garrafas apresentem teores de humidade mais elevados que os esperados.

É fundamental que se melhore o processo de secagem de forma a evitar a existência de água visível líquida após a secagem.

4.2.4.5 Isolamento da garrafa após a secagem

É extremamente importante que as garrafas de gás que são sujeitas ao processo de secagem sejam isoladas de fatores externos e à possibilidade de entrada de contaminantes, prejudiciais ao cumprimento especificações dos produtos finais.

4.2.4.6 Procedimentos operacionais e rigor técnico

Os procedimentos técnicos são adaptados às diversas indústrias e devem, em todo o momento atender à segurança de quem está direta ou indiretamente envolvido nas práticas que este explicita e à qualidade no serviço a prestar. Um incumprimento dos procedimentos técnicos adotados pela empresa pode originar diversos modos de falha que têm um efeito bola de neve, acumulando-se e podendo despoletar uma consequência gravosa.

Neste sentido, a requalificação dos RP's é efetuada de três em três anos para garantir que as boas práticas são mantidas e que os principais intervenientes nas atividades industriais efetuam o seu trabalho com o máximo rigor técnico possível. Adicionalmente, existem reuniões de sensibilização aos RP's quando ocorre uma incidência (ou um acidente)

por más práticas na atividade. Esta é uma postura muito favorável em meio industrial e que deve ser mantida.

Em adição, existem iniciativas por parte da empresa como a "Caça às Anomalias", reuniões de segurança periódicas, entre outras nas quais os RP's têm oportunidade de expor potenciais modos de falha e reportar comportamentos indevidos ou eventuais falhas que comprometam a conformidade da ação de manutenção das garrafas de gás.

Apesar da constante preocupação por parte da empresa em manter as práticas regradas ao máximo, existem modos de falha que acabam por ser efetivados seja por puro incumprimento, ou por falha humana. Neste sentido, deve ser adotada pela empresa uma postura de prevenção do risco que deve ser controlado desde o início do circuito de manutenção até ao final do mesmo. A começar pela conceção dos procedimentos técnicos, estes devem incluir todos os ditos "casos excecionais" que possam ocorrer eventualmente no decorrer da atividade. Nomeadamente, é muito importante que se crie um registo de incidentes sejam estes invulgares ou ocasionais de modo que cada vez que o RP se deparar com estes potenciais modos de falha, os identifique corretamente e proceda a medidas de mitigação do risco. Como exemplo, a inspeção periódica da garrafa deve ser efetuada de forma a identificar se existem modos de falha atendendo a um reportório visual de identificação das mesmas, tais como rachaduras ou fissuras, que são razões para abate.

Adicionalmente, deve-se recorrer a instrumentos ou utensílios de medição das falhas de modo a analisar se é na realidade constituído um modo de falha ou se, de acordo com uma base fundamentada, a garrafa pode continuar ao serviço e ser aprovada na inspeção periódica. Os procedimentos recomendados atualmente por entidades como a EIGA, a BCGA e a CGA, servem de modelo para as empresas que efetuam a manutenção em garrafas de gás comprimido, em particular, sobre a qual este projeto incide, na requalificação periódica das mesmas.

Atualmente, tem vindo a ser cada vez mais recorrente nas indústrias a substituição de tarefas repetitivas e, de certa forma, mecanizadas, praticadas pelos trabalhadores, por tarefas totalmente automatizadas por programas especificamente concebidos para realização das mesmas. Neste sentido, valoriza-se o trabalhador que acaba por adquirir um papel de controlo não rotineiro e diminuem-se as falhas humanas envolvidas nos processos. Em suma, os métodos de deteção devem ser automatizados de forma a minimizar os potenciais modos de falha que possam estar associados aos processos.

4.2.4.7 Prevenção de modos de falha que possam perpetuar até às etapas de acabamento

Em determinados casos, podem existir modos de falha que advêm de ações mal-intencionadas e deliberadas pelo cliente ou até mesmo acidentais que comprometem o seguimento da garrafa no circuito de manutenção, uma vez que esta já não se encontra apta para continuar ao serviço. São exemplos: os pingos de solda à superfície da garrafa, a brasagem ou qualquer tipo de intervenção por soldadura na garrafa, os cortes ocorridos na garrafa, a

exposição da garrafa a fonte de calor (isqueiro ou maçarico), exposição da garrafa a chama acesa, entre outros.

Por sua vez, modos de falha que carecem de um método ou instrumento de deteção, são alvo de uma atenção redobrada, como é o caso das manchas de gordura ou óleos encontrados, em torno da gola da garrafa de gás ou no seu interior. Constitui um risco de incêndio o contacto entre este tipo de matérias e um gás comburente, como é o caso do oxigénio e é fundamental que se identifiquem estes problemas provenientes acidental ou intencionalmente antes que a garrafa seja de novo colocada ao serviço. Para tal, está incluído nos procedimentos do CMD, um método para retirar este tipo de matérias do interior das garrafas aprovado, o *Blue Gold*. Este é um desengordurante usado antes da prova hidráulica nas garrafas onde se visualizem vestígios de hidrocarbonetos.

Para poder evitar que garrafas com defeitos sigam o circuito de manutenção é necessária uma atenção extra no decorrer das etapas antecedentes ao *testing*. No entanto, existem situações nas quais é muito complicado conseguir identificar este tipo de falhas, uma vez que antes da prova hidráulica, a superfície externa da garrafa ainda não se encontra tratada. A menos que o defeito seja visivelmente detetável, este acaba por ser alvo da falha humana e inevitavelmente seguir as etapas até que acaba por ser filtrado numa delas. É de extrema importância garantir que estes modos de falha são detetados *a priori* nas etapas iniciais, preferencialmente no momento da inspeção externa da garrafa e evitar que aos mesmos cheguem às fases finais de acabamento, aumentando, cada vez mais, o risco de não serem identificados.

4.2.4.8 Estudo do impacto da pressão interna da garrafa na humidade do gás de saída

É clara a evidência de que a pressão tem uma forte influência na quantidade de humidade que o gás contido na garrafa tem à medida medida que se vai consumindo (ver secção 2.3.4.1).

Como explicado na secção 2.3, devido à polaridade da água e às rugosidades encontradas ao longo da superfície interna da garrafa dada a sua utilização, esta acaba por ser adsorvida ao longo das superfícies internas, criando um filme de moléculas de água que se vão libertando (por desadsorção), à medida que a pressão da garrafa vai diminuindo. Este fenómeno é muito ativo e é importante que se conheça a sua dinâmica e se controle a quantidade de humidade contida de forma efetiva no interior da garrafa para que, nas fases de final utilização da mesma, não incorra no comprometimento do sucesso da aplicação na qual está a ser usado.

Com os objetivos de perceber se existe uma variação significativa na especificação da humidade contida na garrafa que comprometa a ficha de produto apresentada pela AL e de compreender o impacto da pressão na adsorção de moléculas nas paredes internas da garrafa, efetuou-se o planeamento de experiências explicado na secção3.3.

As garrafas foram rastreadas durante o seu percurso pela prova, sendo que, em concreto, se tomaram os seguintes registos:

- Etapas de desmontagem da válvula e escovagem da ogiva ocorreram na manhã de 27/08/2021;
- Etapas de testing / prova hidráulica, de secagem, de inspeção interna e de registo da garrafa ocorreram na tarde de 27/08/2021 e prolongaram-se até à manhã de 28/07;
- Etapas de decapagem e pinturas de corpo e da ogiva ocorreram entre 30/08/2021 e 31/08/2021;
- Etapas de montagem da válvula e do capacete e de finalização com colagem de uma etiqueta de identificação das garrafas, ocorreram no dia 31/08/2021.

É de extrema importância referir que todas as garrafas efetuaram o seu percurso de forma a cumprir com o rigor técnico dos procedimentos. As garrafas contiveram produtos considerados inertes tais como: **Alphagaz 1 He**, **Azoto Industrial**, **Arcal Force**, **Arcal Prime**, **Arcal Speed**, **Arcal MAG**, **Alphagaz 1 N_2**.

Aquando do seu tratamento, as garrafas foram isoladas do exterior, com tampas de rosca, sendo um dos locais logo após a etapa de secagem, até serem colocadas na CAA, na qual é colocado um perne de transporte. Adicionalmente, quando saíram da CAA e até lhes ser montada a válvula, também foram isoladas da mesma forma. Assim, garante-se que não ocorreu influencia das condições atmosféricas e estas condições não comprometem este estudo.

Após terminarem o circuito de manutenção, as garrafas partiram para o centro de enchimento, no qual foi possível proceder ao seu enchimento com o gás azoto.

Foi apontada a sua disposição no cesto de garrafas, sendo a seguinte:

Tabela 4.12: Organização das garrafas da experiência no cesto.

4.2.	2.1.	7.2.	6.1.
1.1.	3.1.	8.2.	2.2.
1.2.	8.1.	5.2.	5.1.
4.1.	7.1.	6.2.	3.2.

Já no local do enchimento, as garrafas foram cheias a uma pressão de 200 *bar* com azoto, de acordo com os procedimentos da empresa. Importa referir que estas garrafas passaram por três procedimentos de lavagem, que consistem em introduzir azoto na embalagem até que a mesma possua uma pressão de enchimento de aproximadamente 30 *bar* e purgá-la, *a posteriori*.

Depois da fase de enchimento estar terminada, o cesto com as garrafas foi colocado na zona onde se efetuam análises ao gás. O laboratório de medições tem diversos aparelhos de medição, entre os quais um medidor do teor de humidade no gás, um medidor do teor de oxigénio no gás e um medidor do teor de dióxido de carbono no gás, os quais recebem uma corrente de gás proveniente da garrafa com o gás incluído a analisar. Através de tomadas de purga, é possível ligar os aparelhos a rotâmetros que colocam a corrente

proveniente da garrafa com caudais adequados às diversas medições. A estes rotâmetros, é posteriormente ligado o aparelho através de um ponto de amostragem (pode ser visualizado na secção 3).

Para que se efetuassem as medições do conteúdo de humidade no interior de cada uma das garrafas do estudo, foi necessário recorrer à utilização do higrómetro mencionado na secção 3.

Antes das medições, o higrómetro foi calibrado com um produto AL de azoto, nomeadamente, uma garrafa **Alphagaz 2** $\mathbf{N_2}$ cuja especificação em teor de humidade é conhecida e inferior a $0,5$ *ppm* (medição efetuada no centro de enchimento de produtos da gama **Alphagaz 2**, em Espanha).

Para que se pudesse perceber se os valores medidos não estão abaixo da humidade contida no tanque de armazenamento do gás azoto, a sua medição foi retirada e concluiu-se que a medida padrão do gás azoto é de $1,5$ *ppm* de humidade.

Foi criado um formulário para que se pudessem apontar os valores obtidos (ver no Anexo II).

Após o processo de enchimento, mediu-se a temperatura da superfície das garrafas à medida que se ia efetuando a medição do conteúdo de humidade. Posteriormente, deixou-se as garrafas arrefecerem até ao dia seguinte e mediu-se de novo a temperatura da superfície e a humidade contida de cada uma das garrafas.

Para se poder determinar se a humidade era afetada pela pressão, efetuou-se o esvaziamento das garrafas até aos 30 *bar* de pressão com o auxílio de um redutor de pressão. Efetuou-se de novo a medição do conteúdo de humidade das garrafas.

Finalmente, procedeu-se ao esvaziamento das garrafas até à zona de pressão residual marcada, no indicador de pressão presente na válvula do tipo SMARTOP e determinou-se, para cada uma das garrafas, a quantidade de humidade presente no gás. Os resultados obtidos apresentam-se nos seguintes dois gráficos.

Para 200 bar, foi possível proceder a suas medições distintas. Os valores estão expostos na Figura 4.11.

Os resultados para 30 bar ou menos foram os apresentados na Figura 4.12.

A partir da análise dos resultados a 200 *bar* de pressão nas garrafas a pressões elevadas, conclui-se que a humidade contida nas mesmas iguala a humidade contida no tanque, o que reforça a ideia de que as partículas de gás projetam as partículas de água residuais no sentido das paredes da garrafa e apenas circula livremente o gás que foi introduzido no enchimento. Conclui-se que a temperatura não teve efeito nesta gama de valores a rodar os 33ºC.

No que se refere aos resultados a 30 *bar* ou menos de pressão, efetivamente verifica-se um aumento da humidade no interior da garrafa com a diminuição da pressão das garrafas, mas essas oscilações não são muito significativas. Apesar disto, gamas que têm o seu patamar em valores inferiores a 4 *ppm* de humidade são comprometidas.

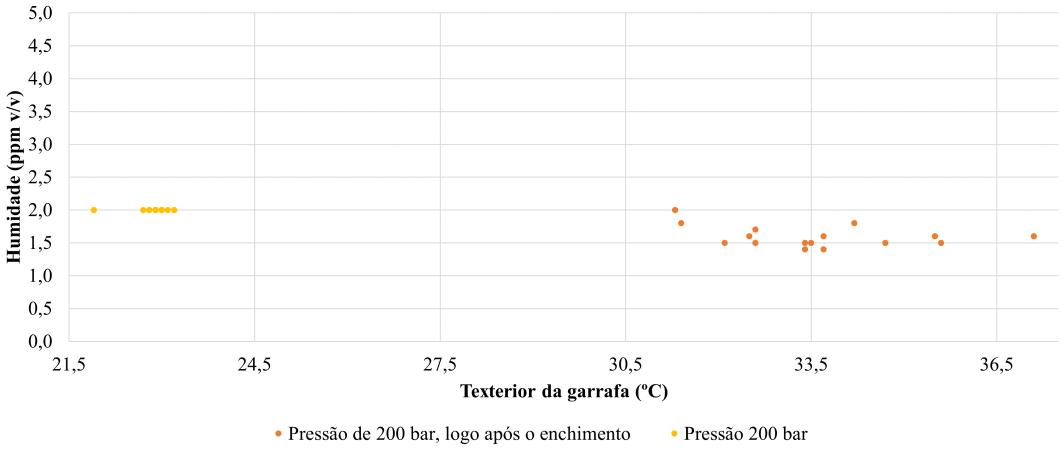


Figura 4.11: Estudo à humidade contida no interior das garrafas de gás que completaram o circuito de requalificação, em função da sua temperatura exterior e quando as mesmas se encontram a uma pressão de 200 *bar*.

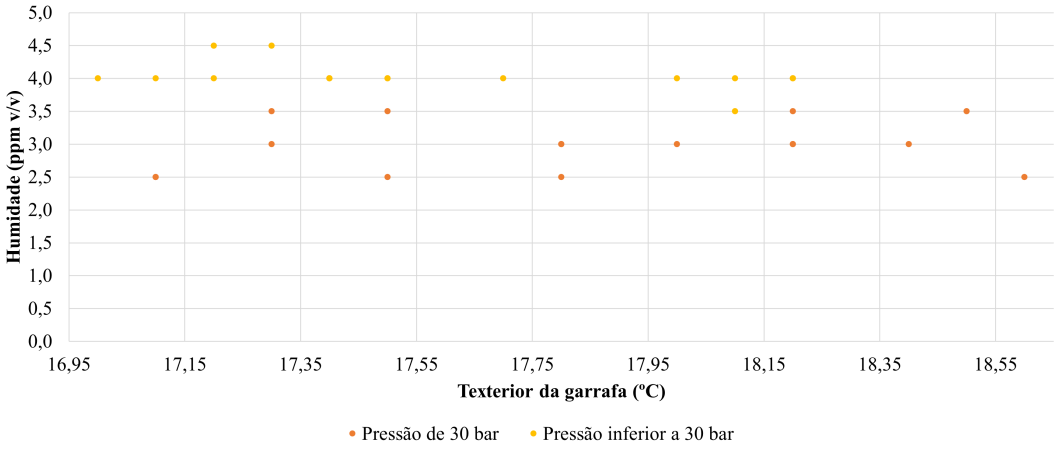


Figura 4.12: Estudo à humidade contida no interior das garrafas de gás que completaram o circuito de requalificação, em função da sua temperatura exterior e quando as mesmas se encontram a uma pressão equivalente ou inferior a 30 *bar*.

Conclui-se para todas as medições que, apesar dos tempos de secagem variarem entre as diversas garrafas, o conteúdo de humidade resultante é relativamente semelhante entre elas. Isto pode sugerir que a secagem das garrafas efetuada em 8 minutos é semelhante à secagem em 15 minutos. No entanto, existem diversos fatores que podem vir a corroborar esta dedução, tais como: o estado interior da superfície garrafa; o tempo de serviço da garrafa; os gases que a garrafa conteve; o material constituinte da garrafa; dada a precisão do higrómetro ser de, aproximadamente, 19%, e a exatidão ser de 12%, não se pode concluir que estes dados sejam os reais.

Seria necessária uma avaliação mais detalhada, na qual se considerassem todos os fatores que possam estar envolvidos na conjuntura real apresentada no interior da garrafa de gás.

4.2.5 Medidas de Mitigação Propostas

4.2.5.1 Isolamento das tubagens após o aquecedor de ar comprimido

Considere-se o atual sistema de controlo da temperatura a que o ar comprimido sai do aquecedor, para ser encaminhado para o processo de secagem. Como anteriormente mencionado, o ar quente comprimido que é ejetado no interior das garrafas de gás para efetuar a sua secagem, é controlado por temperaturas de *set-point* que são dispares para garrafas cujo material de construção é o aço e para garrafas cujo material de construção é uma liga de alumínio.

Apesar desse controlo ser efetuado, é importante relembrar que a temperatura não se mantém até ao término na tubagem que canaliza o ar comprimido após a sonda de medição, uma vez que existe perda de calor na tubagem. Devido à configuração do atual processo, as temperaturas seguem uma tendência de diminuição à medida que a tubagem é percorrida, uma vez que existe um impacto negativo por parte da temperatura do meio ambiente envolvente na tubagem de ar quente comprimido. Ao ocorrer esta dependência entre o meio que rodeia um processo e o processo em si, pode-se concluir que o sistema está fora de controlo estatístico.

Alguns cálculos foram efetuados para demonstrar a perda de calor através de uma tubagem de aço.

Considere-se que, na tubagem do CMD a parede interna encontra-se com uma temperatura equivalente à do fluido que nela passa, ou seja, a temperatura do ar comprimido. Por sua vez, devido à velocidade a que o ar quente comprimido se encontra, resultante da pressão de 5/6 bar, considera-se que não existe interna resistência a contabilizar por convecção; a convecção natural do ar que se dá no exterior da tubagem foi também considerada pouco significativa.

Uma vez que se desconhecem as dimensões da tubagem instalada desde o medidor de temperatura até ao local da secagem e o material de construção da tubagem, considerou-se um exemplo genérico, recorrendo aos exemplos demonstrados em[40]:

Uma tubagem de aço cuja condutividade térmica é de $\kappa = 13\ W/(m.K)$ (condutividade térmica do aço inoxidável 316 [69]) e, supondo que a mesma tem um diâmetro interno de $D_i = 64\ mm$ e espessura de $e = 5$ mm, transporta ar seco a 100 $°C$ ou a 60 $°C$, consoante o tipo de garrafa de gás a secar. Qual a perda de calor para o meio envolvente quando a temperatura da parede externa (devido ao meio ambiente) está à temperatura normal de 25 $°C$?

Recorde-se as secção 2.3.2.1. Para determinar a taxa de transferência de calor ocorrida através de uma parede cilíndrica, recorre-se à Lei de Fourier 2.9, para as coordenadas cilíndricas.

Assim,

$$q = \frac{\kappa\ .A.(T_1 - T_2)}{ln(\frac{r_2}{r_1})} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_T} \tag{4.1}$$

A área considerada é a correspondente à secção reta, ou seja, $A = 2\pi.L$, onde L é o comprimento da tubagem.

Para tal, necessita de se determinar o raio externo da tubagem:

Neste caso,

$$r_1 = \frac{64\ mm}{2} = 32\ mm \tag{4.2}$$

$$r_2 = r_1 + e = 32\ mm + 5\ mm = 37\ mm \tag{4.3}$$

Para 1 metro de tubagem, a resistência total é:

$$R_T = \frac{1}{13\frac{W}{(m.K)}} \times \ln\frac{37\ mm}{32\ mm} = 1,12 \times 10^{-2}\ \frac{(K.m)}{W} \tag{4.4}$$

Assim, a taxa de transferência de calor para o exterior, por metro de tubagem é de:

Para as garrafas de aço:

$$\begin{aligned} q &= \frac{(T_{pi} - T_{ac})}{R_T} = 2 \times \pi \times L \times \frac{(T_{pi} - T_{ac})}{R_T} \\ &= 2 \times \pi \times 1\ m \times \frac{(100 + 273,15)K - (25 + 273,15)K}{1,12 \times 10^{-2}\ \frac{(K.m)}{W}} \\ &= 4,22 \times 10^4\ \frac{W}{m} \end{aligned} \tag{4.5}$$

Para as garrafas de liga de alumínio:

$$\begin{aligned} q &= \frac{(T_{pi} - T_{ac})}{R_T} = 2 \times \pi \times L \times \frac{(T_{pi} - T_{ac})}{R_T} \\ &= 2 \times \pi \times 1\ m \times \frac{(60 + 273,15)K - (25 + 273,15)K}{1,12 \times 10^{-2}\ \frac{(K.m)}{W}} \\ &= 1,96 \times 10^4\ \frac{W}{m} \end{aligned} \tag{4.6}$$

É possível perceber que a menor temperatura do ar que circula na tubagem está associada a uma menor perda de calor para o exterior, o que seria de prever, uma vez que a força motriz é o gradiente de temperaturas.

Considere-se, agora, como exemplo, a quantidade de garrafas preparadas no CMD que passaram pelo processo de *hydrotesting*, em 2018: 17 391 garrafas de gás. Por outro lado, suponham-se 240 dias de produção dos processos de manutenção de embalagens de alta pressão, nesse mesmo ano. Cada vez que o processo de secagem se encontra em funcionamento, seca 6 garrafas de uma só vez.

Desta forma,

$$\text{Número de voltas processadas (secagem)} = \frac{\frac{17391\ \text{garrafas}}{240\ \text{dias}}}{6\ \text{garrafas}} = 12\ \text{voltas/dia no ano de 2018} \tag{4.7}$$

De acordo com os tempos dedicados à secagem de garrafas de aço e de garrafas de liga de alumínio, considerem-se 6 voltas das de aço que demoram, cada uma delas 12 minutos

a secar e 6 voltas das de liga de alumínio que demoram, cada uma delas 6 minutos a secar. Assim, 72 minutos por dia para secar garrafas de aço e 36 minutos por dia para secar garrafas de alumínio.

De acordo com os 240 dias no ano de 2018, isto equivale a 17280 min/ano dedicados à secagem de garrafas de aço e 8640 min/ano dedicados à secagem de garrafas de liga de alumínio. O que corresponde a 288 h/ano e a 144 h/ano, respetivamente, para as de aço e para as de liga de alumínio.

Considere-se o preço atual da eletricidade [70]: 0,14450 €/kWh.

Assim, para as garrafas de aço, o custo da perda de calor na tubagem é de,

$$\text{Custo} = 4,22\times10^{4}\ \frac{W}{m}\times 0,14450\ €/\text{kWh}\times\frac{1\ kW}{1000\ W}\times 288\ h/ano = 1756,20\ €/\text{m.ano} \quad (4.8)$$

e para as garrafas de liga de alumínio, o custo da perda de calor na tubagem é de,

$$\text{Custo} = 1,96\times10^{4}\ \frac{W}{m}\times 0,14450\ €/\text{kWh}\times\frac{1\ kW}{1000\ W}\times 144\ h/ano = 407,84\ €/\text{m.ano} \quad (4.9)$$

Assumindo uma tubagem de 7 metros, o gasto total anual, calculado para 2018, equivale a 15 148,28 €.

Deste modo, foi possível identificar uma oportunidade de melhoria que impacta o processo de transferência de calor ocorrido no interior das garrafas de gás que são secas no processo de secagem: a falta de isolamento da tubagem a jusante do aquecedor.

De acordo com os cálculos, justifica-se o isolamento devido ao curto *payback* que esta ação de mitigação viabiliza. Isto fez com que a ação fosse implementada no *site* CMD.

Através do isolamento da tubagem a jusante do aquecedor e a montante do processo de secagem, espera-se obter eficiência energética e permitir que o processo fique sob controlo estatístico, não sendo tão influenciado pelas condições de temperatura do meio envolvente. O isolamento irá possibilitar um controlo mais rigoroso da temperatura à saída da tubagem e com diferenças pouco significativas em relação às medições tomadas nos pontos de controlo, consentindo apenas as flutuações naturais do sistema.

4.2.5.2 Substituição das mangueiras do processo de secagem

A substituição das mangueiras pertencentes ao processo de secagem é uma das sugestões feitas nos modos de falha por se apresentar como uma oportunidade de melhoria.

Sugere-se que a sua substituição seja feita com mangueiras com um elevado grau de isolamento térmico de modo a (i) haver uma maior contenção de energia térmica (calor) do ar canalizado para a secagem e (ii) permitir a segurança do operador no manuseamento das varetas durante o processo de secagem.

4.2.5.3 Adaptação das mangueiras com peça de engate rápido

Entre a tubagem que sucede o aquecedor de ar comprimido e as varetas que deverão ser inseridas no interior das garrafas para que a secagem se proceda, existe uma distribuição de ar que é efetuada através de seis saídas com mangueiras que, de forma flexível,

possibilitam a introdução/remoção das varetas de ejeção do ar.

As mangueiras tinham engate arcaico e pouco prático, com um aperto de braçadeira pelo que, para facilitar a sua remoção em caso de modos de falha e seus efeitos se realizarem, propôs-se a substituição da ligação entre as saídas tubagem e as mangueiras ser com peças de engate rápido.

A solução foi implementada no processo de secagem e permite que as soluções seguidamente descritas possam ser aplicadas com maior facilidade e que, em conjunto, permitam uma melhor dinâmica de convecção forçada no interior das garrafas de gás que sevem ser secas após o *hydrotesting*. A melhoria da eficiencia do processo de secagem está diretamente associada à melhoria da qualidade dos produtos de elevada pureza e é importante que esta seja feita da melhor forma de modo a diminuir a probabilidade da garrafa se vir a degradar com o tempo de serviço.

4.2.5.4 Uniformização dos comprimentos das varetas da secagem

O comprimento das varetas é muito importante para a melhoria da dinâmica no interior da garrafa a secar.

Considere-se o sistema atual, ilustrado na Figura 4.13, e no qual existe um tamanho de vareta definido para a secagem de garrafas B50, isto é, com uma capacidade de 50L de água. Estas varetas são introduzidas no interior das garrafas e têm um disco perfurado (ver Figura 4.14) e com um determinado peso de forma a assentar no gargalo da garrafa e a permitir a criação de uma corrente de turbulência do ar que é ejetado no fundo da garrafa e segue um caminho ascendente até sair pelos orifícios do disco. É, portanto, considerada uma secagem semifechada devido ao isolamento proporcionado pelo disco e aumenta-se, assim, a dinâmica no interior da garrafa.

Figura 4.13: Processo de Secagem do CMD.

Figura 4.14: Parte superior do disco de peso de uma vareta pertencente ao processo de secagem.

Identificou-se uma oportunidade de melhoria no tamanho das varetas de secagem, uma vez que as mesmas compreendiam comprimentos diferentes (ver Figura 4.15 e Tabela 4.13). A melhoria passa por uniformizar o tamanho de varetas para um tamanho específico que otimize a dinâmica criada no interior da garrafa de gás.

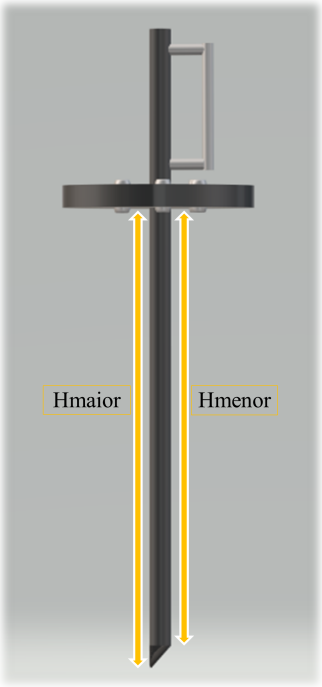


Figura 4.15: Desenho de uma vareta pertencente aos processo de secagem (com recorrência ao *software Paint 3D*.

Tabela 4.13: Medições dos comprimentos das 12 varetas pertencentes ao processo de secagem.

Varetas grandes (usadas)		
	Hmaior (cm)	Hmenor (cm)
1	132,8	132,3
2	132,5	132,3
3	133,0	133,0
4	133,8	133,8
5	130,7	130,7
6	132,7	132,7
Varetas pequenas (não usadas)		
	Hmaior (cm)	Hmenor (cm)
1	69,6	70,1
2	69,8	70,4
3	69,8	70,4
4	69,7	70,3
5	69,7	70,5
6	69,7	70,5

Em adição, visto que existem garrafas de diferentes tamanhos, é possível perceber que as varetas construídas para as garrafas maiores não são adequadas para as mais pequenas, uma vez que se compromete a função de peso do disco, bem como a possibilidade do ar ejetado na garrafa ser projetado para um local específico devido ao nó de ejeção assentar sob o fundo da garrafa. O nó de saída da vareta fica, por conta da gravidade, sujeito a uma sobrepressão não favorável ao processo de secagem. Dois modos de falha foram identificados pelo fenómeno potencialmente criado no fundo destas garrafas. O primeiro com causa na ligeira supressão de ar devido ao peso criado pela vareta numa garrafa de menores dimensões e o segundo com base na possibilidade do fundo convexo também permitir a supressão do ar quente de secagem quando o nó de saída está encostado à sua curvatura. A Figura 4.16 exemplifica o sistema de secagem das garrafas de menores dimensões e a Figura 4.17 um caso no qual a garrafa foi seca de forma não eficiente.

Figura 4.16: Secagem de garrafas pequenas no CMD.

De forma a mitigar os modos de falha que poderão estar associados à incorreta secagem das garrafas de gás de menores volumes, procurou-se explorar a viabilidade de duas opções. A primeira opção passaria por criar varetas com possibilidade telescópica que pudessem servir tanto a secagem de garrafas de gás de menores dimensões como as de maiores. No entanto, os efeitos associados à diminuição do diâmetro da tubagem (considerando um gargalo de tamanho definido e limitador) não permitiram a execução desta melhoria. Seguidamente, e uma vez que o sistema de secagem está concebido para a secagem de 12 garrafas, a possibilidade de utilizar as varetas inutilizadas seria uma possível opção.

De modo a predefinir um comprimento de varetas uniforme que seja eficientemente

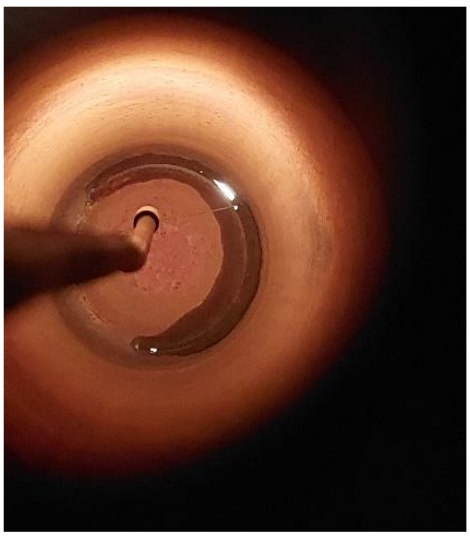


Figura 4.17: Exemplo de processo de secagem não conforme de acordo com os *standards* de exigência na inspeção visual periódica.

potenciador da dinâmica de transferência de massa e de calor que possa ocorrer no interior da garrafa, considerou-se que o comprimento das varetas deveria de ser adequado e permitir que o ar fosse ejetado para as partes mais fundas da garrafa, ou "zonas mortas", nomeadamente, os locais onde existe maior acumulação de água líquida após a secagem, devido à força da gravidade.

4.2.5.5 Peça para ponta das varetas para projeção por impacto de jatos direcionada

Outra possibilidade de melhoria identificada para otimizar a turbulência do ar ejetado no interior da garrafa de gás de modo que ocorra a secagem foi a reformulação da geometria do nó de saída do ar quente à pressão.

A solução tem como base uma ideia encontrada para lavagem ou desobstrução de tubagens, com uma ponteira com uma geometria própria de forma a propiciar a ejeção do ar em determinadas direções e com a maior eficiência de ejeção possível. No caso da peça desenvolvida como ponteira das varetas do processo de secagem, a geometria teria de ser desenvolvida de forma a propiciar a ejeção do ar diretamente para as zonas mais fundas da garrafa. Optou-se por se criar uma ponteira com formato de esfera e com cinco orifícios com 3 *mm* de diâmetro: um direcionado para o centro do fundo da garrafa e os restantes quatro com perfurações transversais que pudessem incidir diretamente na zona circular mais funda da garrafa, considerando o caso mais comum: uma garrafa com fundo convexo (ver Figuras 4.18, 4.19 e 4.20).

A ideia foi desenvolvida em conjunto com um colaborador da empresa AJF, que oferece

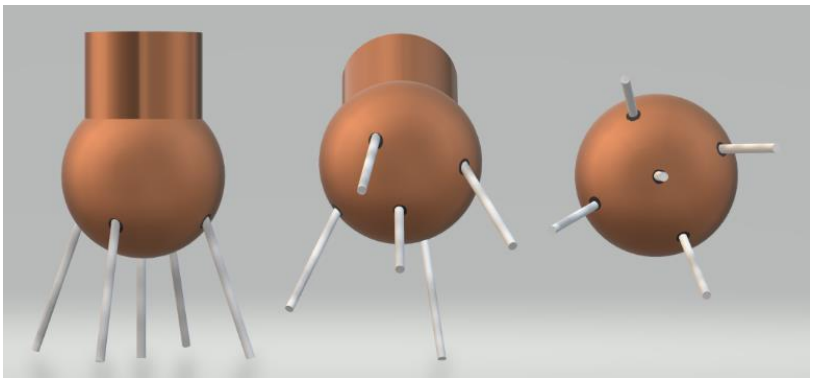


Figura 4.18: Modelo da ponteira das varetas do processo de secagem (com recorrência ao *software Paint 3D*).

Figura 4.19: Exemplificação da zona mais funda da garrafa e local de acumulação de água líquida (zonas mortas).

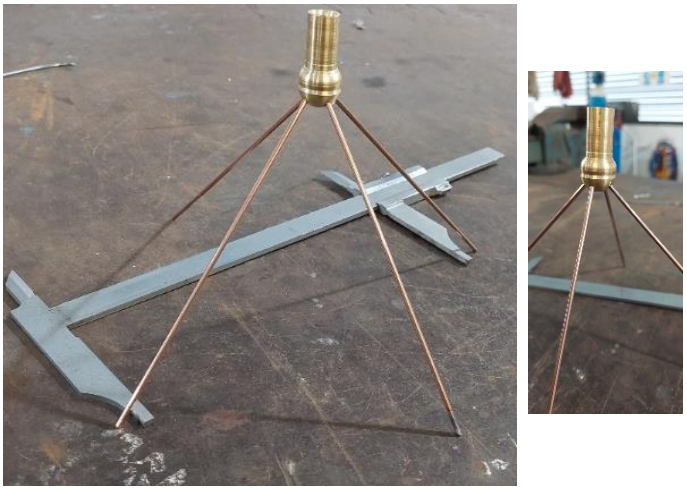


Figura 4.20: Projeto para determinação das medidas da para conceção da ponteira das varetas do processo de secagem, com consideração do fluxo de ar quente comprimido.

suporte de manutenção aos equipamentos, Ionut Diacu.

Assim, de forma que o ar da secagem projetado por impacto dos jatos, nas zonas de acumulação de água líquida, estivesse em concordância com o tamanho da vareta uniformizado e adequado às garrafas mais comuns (B50, B30 e B20), foram desenvolvidas as ponteiras para o processo de secagem. Estas ponteiras obedecem a cinco jatos que deverão ejetar por impacto e intencionalmente o ar quente comprimido para o fundo da garrafa. Para poder considerar o universo de garrafas que são preparadas no CMD, foram recolhidas amostras aleatórias de garrafas de aço ou alumínio, com PH300 ou PH450, de diversos fornecedores, cujo proprietário pode ser a AL Portugal ou a AL Espanha e mediram-se os seus diâmetros dos fundos. A partir da recolha de 5 amostras de 30 garrafas do tipo B50, de 30 garrafas do tipo B30, de 30 garrafas do tipo B20, de 30 garrafas dos tipos B11 e B10 e de 30 garrafas do tipo B5 e B2,5, efetuaram-se as respetivas médias (presente no Apêndice D).

Uma vez que as garrafas que são mais frequentemente preparadas no CMD são B50, B20 e B30, chegou-se à conclusão de que se poderiam fazer dois tipos de varetas: para B50 e para B20. Para tal foram recolhidas das duas amostras de garrafas selecionadas para estes conjuntos as alturas interiores, para que, recorrendo à trigonometria se pudesse determinar os melhores ângulos de embate na zona mais funda da garrafa. Cada peça foi construída com uma altura de 42 *mm*.

Para ambas as garrafas, foram efetuados os cálculos necessários para determinar quais os valores do comprimento das varetas que otimizassem a dinâmica convectiva forçada no interior das garrafas de gás no processo de secagem do CMD. Estes cálculos, e os desenhos auxiliares estão presentes no Anexo III. O resultado do projeto está ilustrado na Figura 4.21.

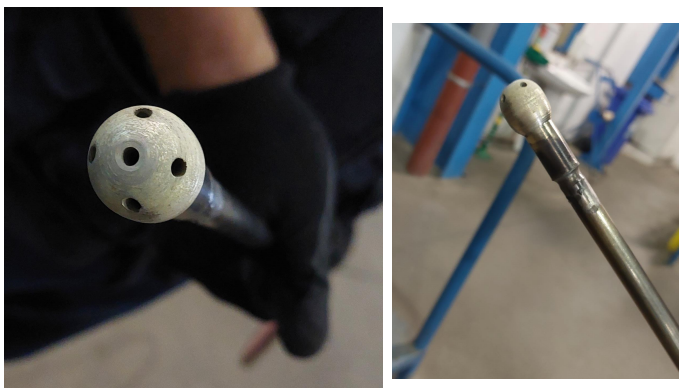


Figura 4.21: Resultado final da ponteira concebida para as varetas do processo de secagem.

4.2.5.6 Limite para a humidade após a requalificação

Para garrafas de gás que sejam sujeitas a requalificação através da prova hidráulica é importante que se defina um limiar para o contaminante principal, a água.

Foram encontradas, no próprio grupo, algumas fontes que referem o modo de preparação de garrafas de gás que deverão servir para produtos com gases de elevada pureza e misturas de gases especiais.

Em particular, o documento IN-TI-FIL-002 – "Cylinder preparation for high purity gases and specialty gas mixtures", é referido que a concentração de humidade no gás comprimido, corresponde à pressão parcial do gás. Na realidade, a capacidade de um determinado gás ou mistura de gases reter vapor de água, depende da pressão de vapor da água a uma dada temperatura. A partir da Tabela 4.14, adaptada do documento mencionado, é possível perceber qual o teor de humidade que as linhas de produtos AL apresentam consoante a sua especificação e a discrepância de valores de pressão parcial no gás para poder apresentar o valor de humidade correspondente. Este efeito é explicado nas secção 2.3.4.1 e é fruto do fenómeno que ocorre nas paredes internas da garrafa, a desadsorção das moléculas de água. O teor de humidade no gás é fortemente afetado pela pressão da garrafa e a desadsorção é diretamente dependente da temperatura a que a garrafa se encontra.

Tabela 4.14: Humidade apresentada pelos gases a alta e baixa pressão, de acordo com a pressão parcial correspondente(adaptada de documento interno IN-TI-FIL-002).

	Humidade nos gases comprimidos		
Gama de produtos	**Especificações**	**Pressão parcial correspondente**	
		200 bar	**5 bar**
Certos Arcal e Lasal e Alphagaz 1	3 ppm	0,6 mbara	0,018 mbara
Alphagaz 2	0,5 ppm	0,1 mbara	0,003 mbara

No sentido de controlar a humidade que está contida no interior da garrafa, é proposto pelo Engenheiro António Carreira, SWE Cluster R & A Market manager e *expert* em Specialty Gases, um limite de humidade contida no interior da garrafa que passou pela requalificação de prova hidráulica. A Tabela 4.15, corresponde à proposta apresentada e consiste numa importante definição a considerar, com a salvaguarda de que não haja evidência no grupo que defina valores mais elevados, pode ser regida pelos valores apresentados.

Estes valores podem ser avaliados na secagem sob risco de se virem a alterar, caso o processo não esteja sob controlo, através da colocação de uma tampa protetora do interior da garrafa; ou, em último caso, ser avaliado no local do enchimento, recorrendo a aparelhos de medida em linha e com a medição de humidade a baixa pressão.

Para a primeira opção, existem duas opções:

- Secagem passa a ser em circuito fechado, o que evita transferências e repousos da

Tabela 4.15: Proposta de controlo de humidade após a secagem de garrafas de gás, consoante o produto a servir.

Tipo		**Exemplos de Produtos**	**Teor de humidade após a secagem da garrafa que passou pela prova hidráulica (ppm)**
Garrafas de gás de gamas industriais	**Produtos Standard**	Industrial N_2, Industrial O_2, Industrial Argon,...	50
Garrafas de gás de gamas industriais	**Produtos Premium**	Aligal 1, Aligal 2, Aligal 12, Arcal Prime	5
Garrafas de gás de gamas industriais	**Gases Especiais**	Alphagaz 1, Alphagaz 2	3

garrafa e a medição mais correta, da humidade no interior da garrafa, considerando a "humidade não visível";

- Secagem permanece em circuito aberto, o que implica uma maior atenção no controlo de qualidade do estado interno da garrafa e a medição da humidade do ar interior da garrafa. A possível humidade presente nas paredes terá de ser visível na inspeção visual periódica para poder ser identificada.

Uma vasta gama de instrumentos de medida são apresentados atualmente no mercado como higrómetros ou medidores de ponto de orvalho, apresentados como sensores, transmissores ou sondas. O seu uso pode ser adaptado ao contexto atual. Alguns aparelhos são apresentados no Anexo III.

Por outro lado, no que se refere à medição da humidade no local do enchimento, os medidores de circuito fechado são os mais indicados. Neste caso, apesar de se poder proceder à lavagem da garrafa se esta apresentar humidade proveniente da requalificação, há uma desvantagem pois medição com pressão semelhante a 30 bar poder ser pouco fiável por não acusar humidade eventualmente adsorvida nas paredes da garrafa.

4.2.5.7 Instrumentos de inspeção

Inspeção com luz UV para garrafas ao serviço do O_2

Como indicado na secção 2.3.7.2, existem equipamentos de inspeção que são recomendados para a identificação de hidrocarbonetos no interior das garrafas de gás. Neste sentido, sugere-se a aquisição deste equipamento de forma a controlar, de melhor forma possíveis casos que não sejam identificados à partida na inspeção realizada antes do *hydrotesting*. No Anexo III, encontra-se uma sugestão para a aquisição deste equipamento.

Espelho de inspeção da ogiva

Um espelho dentário é frequentemente usado na inspeção de garrafas de alumínio, no entanto, recomenda-se a sua aquisição para inspecionar também garrafas de aço. A ocorrência de defeitos na zona da ogiva é um possível modo de falha e a inspeção de toda a superfície interna da garrafa é uma obrigação em vigor estipulada por normas ISO que regulamentam a inspeção de garrafas de gás comprimido. O seu funcionamento é o que se encontra na Figura 4.22 e é um forte instrumento de análise a incluir.

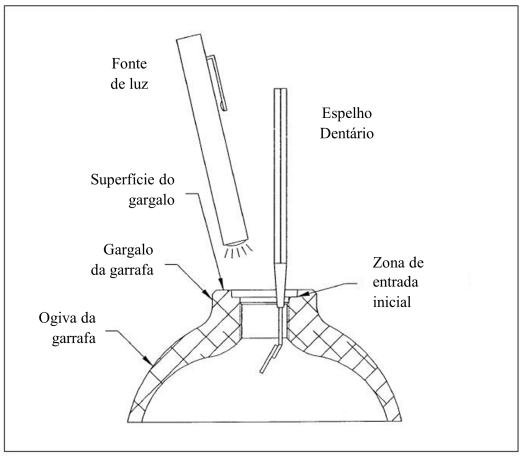


Figura 4.22: Exemplo de utilização de espelho dentário para a inspeção da ogiva (adaptada de[71]).

Algumas opções de mercado são apresentadas no Anexo III.

Inspeção da rosca interna da garrafa

A inspeção da rosca interna da garrafa é uma ação altamente prioritária para garrafas de gás de alumínio, uma vez que, uma rachadura na zona da rosca é uma das maiores causas de falha no momento da montagem da válvula. Apesar disto, este equipamento é recomendado para a análise das roscas das garrafas, nomeadamente na dobra entre o gargalo e a ogiva da garrafa (zona de tensão).

O documento interno IN-AU-CYL-001 reforça a importância de rever as roscas interna e externa do gargalo da garrafa de gás com uma especial atenção para as garrafas de alumínio.

Um instrumento que é igualmente proposto é um medidor de rosca. Estes tipos de equipamentos são altamente recomendados para prever a afetação que a degradação da rosca interna da garrafa poderá ter. A rosca interna da garrafa pode ser facilmente degradada por efeitos da corrosão provocada tanto pelo gás que está incluído na garrafa como pelas manutenções feitas à garrafa.

Por outro lado, uma não conformidade na rosca pode identificar bem uma garrafa que pode falhar na montagem da válvula. A sua utilização no incluída na primeira inspeção interna realizada à garrafa é importante e constitui uma medida importante de prevenção de falhas a jusante.

No Anexo III, encontram-se algumas opções disponíveis no mercado.

Câmara de inspeção interna ou borescópio

A inspeção com câmaras é uma opção extremamente promissora para executar a verificação de contaminantes no interior da garrafa de gás. No mercado existem diversas opções, no entanto, não foram encontrados sistemas associado à deteção automática de água no interior de garrafas de gás.

Uma pesquisa intensiva permitiu encontrar uma opção que pudesse tornar viável desde que não interfira com a cadência de produção: o borescópio. O borescópio consiste num equipamento digital, com uma sonda que tem uma ponteira adaptável com câmara. Através deste aparelho, é possível manobrar a ponta da sonda e ver, de diversos ângulos o interior de uma garrafa de gás. A maior vantagem que se encontra neste tipo de sistema é a possibilidade de gravação e de fotografia do interior da garrafa.

Para avaliar a sua ergonomia e perceber qual o potencial deste aparelho em contexto real, foi feita uma demonstração de um equipamento sofisticado da marca Olympus (ver Figura 4.23), modelo "IPLEX G Lite (Industrial Videoscope)". A demonstração foi bastante promissora, no entanto, o tempo dedicado à análise do interior da garrafa e seus defeitos foi uma desvantagem identificada. Apesar disso, o orçamento foi disponibilizado e encontra-se no Anexo III.

Figura 4.23: Equipamento com câmara de inspeção ou videoscópio demonstrado no *site* CMD (presente em [72]).

Caso houvesse possibilidade de fazer uma gravação em tempo real e, ao mesmo tempo, ter um sistema automático que identificasse as partículas de água, a solução seria muito viável e talvez implementada no CMD. No entanto, por falta de conhecimento, esta opção foi considerada inválida nesta fase.

4.2.5.8 Mudança na técnica de *testing*

Métodos alternativos ao *hydrotesting* podem ser considerados, para tratar embalagens que servem produtos com maior grau de pureza. Para esse fim, existem métodos não destrutivos tais como o UT ou o AET que são aprovados pela Norma ISO 16148 para garrafas de gases comprimidos.

Apesar de serem métodos promissores relativamente à supressão da exposição da superfície interna da garrafa, são métodos que requerem elevado investimento. Por outro lado, o tempo de examinação de uma garrafa tende a ser o *bottleneck* do circuito de requalificação e o que consome mais tempo de execução. Outra desvantagem relaciona-se com a falta de rigor para as superfícies curvilíneas da garrafa, nomeadamente, a zona da ogiva e do fundo, que podem ser potencialmente zonas de falha da garrafa. No entanto, este tipo de *testing* pode ser complementado com outro tipo de testes não destrutivos que possam comprovar a conformidade da garrafa.

4.2.5.9 Supressão da influência das etapas de transporte e repouso de garrafas

A única forma de reduzir a contaminação da garrafa e diminuir os modos de falha a esta associados é diminuir as etapas em que a garrafa se encontra exposta ao meio envolvente.

É importante considerar que montagem da válvula na garrafa deve ocorrer logo a seguir ao processo de secagem.

Tampas de fácil colocação

Para as etapas que envolvem o transporte e o repouso da garrafa de gás e comprometem a integridade do seu estado interno, é importante que se evite ao máximo a sua exposição. Para tal, propõe-se a aplicação de tampas que sejam diferentes das atuais (tampas com rosca). Através do estágio no CMD foi possível perceber que a quebra na cadência de produção quando os RP colocavam as tampas nas garrafas de gás entre transferências. Neste sentido, propõe-se a aquisição de tampas mais ergonómicas e com maior potencial no que se refere à sua colocação entre processos.

Estas tampas deverão ser feitas de um material maleável e ter uma configuração própria para o isolamento do interior da garrafa do exterior eficiente. No mercado existem diversas opções de isolamento da garrafa como tampas plásticas ou de borracha, e estas são apresentadas no Anexo III.

Processo de Secagem no interior do banco de *testing*

Uma das soluções que parece mais promissora é a inclusão do processo de secagem no banco de prova. Esta solução, permite, em primeira instância diminuir o tempo na transição do *hydrotesting* para o processo de secagem e, em segundo lugar eliminar uma das etapas do circuito mais prejudiciais para a garrafa de gás.

A sua aplicação seria feita com a garrafa invertida e com a injeção de ar quente comprimido o que permitiria a passagem, por evaporação, da água líquida residual para o ar sob forma de vapor de água e, ao mesmo tempo, a mesma seguir o caminho dos fluxos de ar no interior da garrafa e ser eliminada.

Reforça-se a ideia de que a garrafa tem de ser seca e assegurar-se que a mesma não contém humidade é uma prioridade a manter até à montagem da válvula [56].

4.2.5.10 Limpeza de garrafas e equipamentos

Os métodos de limpeza mais conhecidos e comuns são limpeza com água quente, com água quente e solvente, com vapor, com solventes, decapagem, rotação mecânica e agitação e limpeza química com soluções ácidas ou alcalinas. Existem soluções mais ou menos adequadas consoante o caso encontrado, no entanto é importante reter que a avaliação do risco deve ser considerada em qualquer caso e deve ser determinado o método com menor potencial de provocar uma consequente falha. O aparecimento de garrafas com corrosão interna é um caso típico para garrafas de gases liquefeitos tais como o CO_2 pelo que é importante que estas garrafas sejam tratadas com maior rigor técnico no momento da inspeção interna da garrafa. Para a eliminação de resíduos e limpeza interna de garrafas de gás de aço, existem equipamentos no mercado indicados para esse efeito. Nestes é possível proceder à decapagem interna da garrafa com um material abrasivo e a agitação da garrafa. Assim, é garantida a limpeza eficiente da garrafa de gás, que seguidamente deve seguir para o *hydrotesting*.

Em adição, no *website* da empresa Catalina Cylinders, é possível encontrar soluções para a limpeza de garrafas de liga de alumínio.

Para a limpeza de equipamentos como os equipamentos de fibra ótica sugerem-se toalhitas próprias com pH neutro, indicadas para a sua limpeza.

Adicionalmente, propõe-se um local dedicado à proteção da sonda de inspeção, com uma ergonomia adequada e que possa ser utilizada após o término da inspeção, não expondo o cabo a condições adversas.

4.2.5.11 Documentação de eventos anómalos

Considera-se importante a criação de documentos exemplificativos que devem ser colocados perto da zona de inspeção de forma que o RP que está encarregue de efetuar a mesma, tenha pontos de comparação com defeitos reais. Nomeadamente, no que concerne a problemas associados à corrosão, seria pertinente haver imagens que exemplificassem os casos mais comuns de corrosão e definir bem os limites de rejeição da garrafa. O documento IN-AU-CYL-001, reforça a ideia de que é benéfica a sua utilização em casos práticos e de controlo da qualidade.

4.2.5.12 "Super Secagem"

Para apurar as soluções presentes no grupo AL, foi realizada uma investigação, a nível do *cluster*. Através desta investigação, foi possível averiguar que existe um tratamento ligeiramente diferente às embalagens que devem seguir para gases com especificação da humidade baixa.

Após duas reuniões com os responsáveis *experts* do tratamento e qualidade de garrafas de gás que devem incluir gases especiais (com especificações da humidade limitadas), nomeadamente, Guillaume Mignot e Valerie Nille, comprovou-se que a preparação de garrafas recarregáveis que necessitam de manutenção, no centro de Carquefou, em França, (CF), é feito de forma diferente.

Nos documentos partilhados, consta que a ordem dos procedimentos é a seguinte: verificação do estado de esvaziamento da garrafa; desmontagem do capacete; "teste da pêra"; desmontagem da válvula; escovagem da ogiva da garrafa; inspeção externa e interna da garrafa; prova hidráulica; gravação por punção ou disco de prova; decapagem e Pintura externa; decagem ou cura da pintura; montagem da válvula, do capacete e acabamento; super-secagem.

É importante relembrar o circuito de manutenção adotado para as embalagens no CMD (ver secção 2.2) e concluir que as diferenças são identificadas após a prova hidráulica. No centro de CF, a prova hidráulica inclui o processo de remoção da água líquida através da inversão das garrafas após a aprovação da requalificação e da injeção de ar seco no interior da garrafa. Isto garante que apenas resta água residual no interior da garrafa de gás. Seguidamente, é colocado um disco com a data de prova e a garrafa segue para tratamento de superfície e etapas de acabamento finais. Finalmente, as garrafas devem ser sujeitas a um processo denominado por super secagem que consiste em submeter as garrafas a ciclos de lavagem com azoto seco e ao vácuo num forno a 60ºC e com pressões baixas.

A super secagem é efetuada como etapa final para todas as embalagens cuja especificação em humidade é inferior a 100 ppm (v/v) e ocorre anteriormente ao processo de enchimento. Nesta etapa, uma determinada garrafa é colocada num forno cuja temperatura é de 60ºC, efetuam-se diversos ciclos de lavagem nos quais se aumenta a pressão até aos 5 *bar* com um enchimento com azoto seco, evacua-se o gás, coloca-se a garrafa sob vácuo, volta-se a encher com azoto seco a 5 bar e evacua-se o gás. Quando a garrafa está sob 5 bar fazem-se análises à humidade e às impurezas e vão-se efetuando ciclos de lavagem até que se atinja a especificação final pretendida. A uma temperatura de 60ºC e uma pressão de 5 *bar*, uma análise efetuada que iguale a especificação pretendida é um dado suficiente para parar este processo e expedir a garrafa para a etapa de enchimento.

O fenómeno que ocorre no interior das garrafas e razão que leva a que a preparação de garrafas inclua, como fase final a super secagem com maior rigor técnico no que concerne a garrafas destinadas a produtos com baixo conteúdo em humidade (inferior a 4 ppm (v/v)) é muito importante para a qualidade final do produto com elevada pureza.

Quando a humidade está incluída no próprio gás, esta encontra-se de certa forma misturada no mesmo e, portanto, o gás que é analisado sai com esta humidade incluída quando a garrafa está a uma pressão elevada. No caso de a humidade estar já incluída no interior da garrafa, a menos que a pressão seja suficientemente baixa para que ocorra a desadsorção de água das paredes, não haverá forma de detetar a humidade presente nas paredes da garrafa.

Isto deve-se ao fenómeno de adsorção criado nas paredes da garrafa de gás e ao comportamento adotado pela água quando é submetida a elevadas pressões é o facto de que a leva a ser empurrada contra a superfície metálica da garrafa e possuir a extrema adesão. Consequente dos fenómenos moleculares, nomeadamente da afinidade particular, a polaridade da água permite que esta adsorva nas capilaridades da superfície do metal, o que cria um filme envolto das paredes internas da garrafa (*water layer*).

Para que uma garrafa de gás possa libertar as moléculas de água das suas paredes internas, tem de ser originada entropia no sistema. A entropia apenas é gerada pelo fluxo de energia forçado que contrarie o fenómeno de adsorção das partículas de água. A única forma de gerar esta força contrária é submeter as moléculas de água à energia de agitação que apenas é possível com o aquecimento do material constituinte da garrafa. Com o aumento da temperatura da superfície interna da garrafa, a tensão de vapor é quebrada e com três ou quatro ciclos de lavagem com um gás não saturado é possível forçar a passagem da água ao estado gasoso e removê-la da garrafa de gás.

No entanto, é muito importante que se meça o conteúdo de humidade no momento em que a garrafa é submetida a uma pressão baixa para se ter uma perceção realista da verdadeira quantidade de água residual presente no interior da garrafa. Segundo os especialistas, apenas abaixo dos 30 bar e com temperatura envolvida é que as moléculas de água iniciam o fenómeno de desadsorção das paredes da garrafa de gás. De acordo com estudos efetuados no centro de CF, de 80 moléculas incluídas numa das capilaridades da superfície interna de uma garrafa de gás comprimido, a secagem que ocorre logo após a prova hidráulica, com remoção da água líquida (visível) permite que a capilaridade aloje cerca de 40-50 moléculas de água. A água residual, deve ser posteriormente removida das capilaridades com o processo de super secagem.

A questão que se colocou no centro de CF foi: Porque não é constatado este efeito de adsorção das moléculas de água por parte dos clientes? A isto, os *experts* Guillaume e Valerie responderam que as queixas dos clientes apenas são feitas quando o cliente constata o comprometimento da sua aplicação devido ao uso do gás. Guillaume afirmou que: "Tomando como exemplo um cliente que recorra a um supermercado para comprar uma lata de Coca Cola. Imaginemos que 75% da bebida está conforme, mas chega a 25% e o produto está estragado. O cliente não se baseia nessa baixa percentagem para reclamar pois pensa que seria desperdício de tempo por tão pouco. Agora aplicando isto a uma garrafa de gás, imagine-se que (percentagens supostas) 75% da garrafa tem gás e 25% da garrafa tem água no estado líquido. À medida que o cliente vai usando o gás, vai diminuindo a pressão total no interior da garrafa, pelo que a água que está nas paredes

tem tendência a depositar-se no fundo. Chega a 25% da garrafa e o cliente pensa que o seu produto está a terminar pois o gás já não sai com a mesma qualidade, pressão ou caudal que seria previsto. Para além disto, o cliente tem um contrato com a empresa fornecedora pois utiliza aquele gás continuamente, seja este distribuído, seja para cliente direto, pelo que é mais fácil pedir uma nova garrafa do que supor que existem problemas com os produtos em específico. As queixas por parte de clientes são mínimas, assim como a perda dos mesmos pois estes não se queixam, muito menos testam propriedades do gás no final da utilização da embalagem." Em França, devido às aplicações dos gases especiais em análises de precisão e aplicações de ponta, e com níveis de exigência e cumprimento do controlo de qualidade, as reclamações têm mais incidência, o que levou os consumidores a queixarem-se desta falta de rigor por parte da AL e por consequência a ser aberta a discussão presente.

4.2.6 Nova Avaliação do Risco

A nova avaliação do risco consiste em analisar novamente os parâmetros de quantificação do mesmo, considerando as ações de mitigação propostas.

Na secção anterior é possível verificar algumas das soluções propostas. No entanto, podem-se verificar as ações de mitigação propostas para cada modo de falha na tabela presente no Apêndice E.

Nas Tabelas 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20 apresentam-se as ações de mitigação, o RPN antigo, os novos níveis em que se insere cada parâmetro, o RPN novo, a percentagem de redução do risco, a percentagem de redução no risco global e o custo estimado de cada medida, para os casos extremamente críticos.

Tabela 4.16: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 1/5).

Etapa do Processo	ID	Ação Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.1.4**	Otimização da dinâmica ocorrida no processo de secagem através do nivelamento das varetas e consequente criação de umas adequadas ao tamanho da garrafa a secar, com engate rápido para facilitada mudança e com ponteira que permita uma melhor dinâmica de convecção forçada.	75	5	1	1	5	93%	0,44%	Médio
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.1.5**		60	5	1	1	5	92%	0,43%	
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.1.6**		60	5	1	1	5	92%	0,43%	

Tabela 4.17: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 2/5).

Etapa do Processo	ID	Ação Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.2.5**	Isolamento da tubagem que procede o aquecimento do ar comprimido, anterior à secagem para melhorar a transferência de calor que ocorre no interior das garrafas que estão a ser secas, bem como minimizar as perdas de energia para o meio envolvente, desnecessariamente.	75	5	1	1	5	93%	0,44%	Médio
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.2.6**	Substituição das mangueiras que canalizam o ar ao processo de secagem, uma vez que se verificou um modo de falha: estas mangueiras são indicadas para a soldadura com acetileno e estão fora da data de validade.	60	4	1	1	4	93%	0,44%	Moderado

Tabela 4.18: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 3/5).

Etapa do Processo	ID	Ação Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.6.2**	Estudo teórico às temperaturas, pressões e tempos ótimos de secagem. Foi realizado um modelo que prevê o tempo ótimo de secagem com determinadas condições assumidas, no entanto, por falta de informações relativamente às condições impostas no processo de secagem, este não foi considerado neste projeto.	60	5	1	2	10	83%	0,39%	Nulo
	10.6.3		60	5	1	2	10	83%	0,39%	
	10.6.4		60	5	1	2	10	83%	0,39%	
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.7.2**	Aquisição de um equipamento de inspeção visual digital, com sonda e um sistema de visualização digital incorporado; Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva);	32	4	2	1	8	75%	0,35%	Elevado

Tabela 4.19: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 4/5).

Etapa do Processo	ID	Ação Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Transporte da garrafa desde o local de secagem até perto da cadeia aérea automática	**12.1.1**	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula; A colocação de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Através do estudo ao impacto da atmosfera envolvente no interior da garrafa, concluiu-se que para gamas que detém especificações abaixo dos 10 ppm são potencialmente impactadas por efeitos de humidade. Adicionalmente, os meses de inverno permitem a condensação nas paredes da garrafa agravam este efeito. Isto dá origem a permissão dos efeitos corrosivos e um produto não conforme; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	36	4	1	1	4	89%	0,42%	Moderado
Repouso da garrafa antes de entrar na cadeia aérea automática	**13.1.1**		36	4	1	1	4	89%	0,42%	Moderado

Tabela 4.20: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a humidade da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 5/5).

Etapa do Processo	ID	Ação Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até perto do local de colocação da válvula	**29.1.1**	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula; A colocação de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Através do estudo ao impacto da atmosfera envolvente no interior da garrafa, concluiu-se que para gamas que detém especificações abaixo dos 10 ppm são potencialmente impactadas por efeitos de humidade. Adicionalmente, os meses de inverno permitem a condensação nas paredes da garrafa agravam este efeito. Isto dá origem a permissão dos efeitos corrosivos e um produto não conforme; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	36	4	1	1	4	89%	0,42%	Moderado
Repouso da garrafa antes de colocar a válvula	**30.1.1**		36	4	1	1	4	89%	0,42%	
Transporte da garrafa até ao local de montagem da válvula	**31.1.1**		36	4	1	1	4	89%	0,42%	

Importa referir que os níveis dos novos parâmetros podem ser revistos para a ocorrência e para a deteção, no entanto, a severidade não pode ser alterada, a menos que se altere o procedimento.

Em síntese, a redução total do risco com a adoção das medidas de mitigação consideradas, apenas relativamente aos casos mais críticos, é de aproximadamente 6%. A redução total do risco obtida com a aplicação das medidas de mitigação perfaz o valor de 68,5%.

As matrizes de risco que se seguem nas Figuras 4.21 e 4.22 demonstram bem a diferença no parâmetro da ocorrência do modo de falha.

ANTES

Tabela 4.21: Matriz de risco antes de aplicar as medidas de mitigação para a humidade.

Ocorrência	5	0	3	0	1	2
	4	0	11	5	1	2
	3	0	46	2	8	3
	2	0	57	25	6	8
	1	0	18	1	2	11
		1	2	3	4	5
		Severidade				

DEPOIS

Tabela 4.22: Matriz de risco prevista com a aplicação d medidas de mitigação para a humidade.

Ocorrência	5	0	0	0	0	**0**
	4	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	2	0	43	9	2	1
	1	0	92	24	16	25
		1	2	3	4	5
		Severidade				

Finalmente, é possível ver na Figura 4.24 a distribuição dos diversos riscos de acordo com o custo estimado em função da sua contribuição na percentagem global de redução do risco. Apresentam-se assinalados, os potenciais modos de falha críticos.

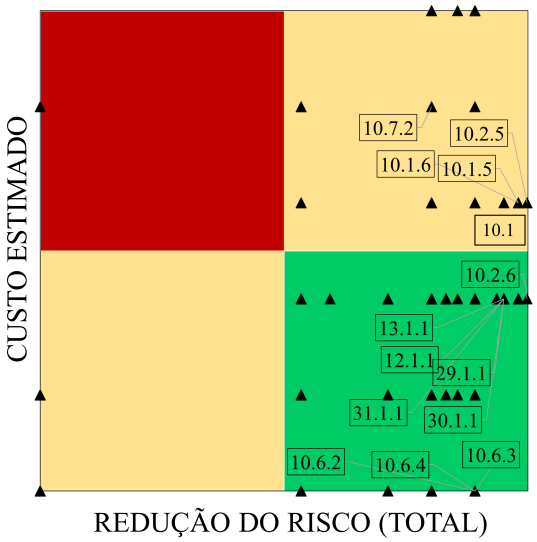


Figura 4.24: Custo estimado *versus* percentagem de contribuição para o risco global com os riscos muito críticos para a humidade assinalados.

A partir da visualização da matriz, percebe-se que as soluções propostas para alguns modos de falha, têm um custo médio-alto, no entanto é importante referir que, das ações de mitigação propostas para cada potencial modo de falha, considerou-se a de maior investimento no custo estimado.

Apesar disso, é importante ressalvar que se prevê um melhoramento significativo se as ações de mitigação forem efetivadas e um peso elevado na contribuição cedida para a redução do risco total das operações.

Na matriz, existe uma elevada concentração de modos de falha no quadrante cujo custo estimado é médio-baixo e a contribuição está maximizada, o que corresponde ao cenário ideal. É, portanto, importante rever as ações de mitigação propostas e aplicá-las sempre que haja um melhoramento dos processos ou procedimentos aplicados no tratamento de uma embalagem de gás comprimido.

Prova disso é que, algumas das soluções avançaram para implementação no CMD e outras estão em processos de averiguação para aprovação.

4.3 Gestão de Risco: Pintura da Ogiva de uma Garrafa

Com principal foco no controlo de qualidade existente nas diversas indústrias e da influência da imagem do produto na satisfação do cliente, é de interesse para a empresa proceder à melhoria dos seus processos de forma a combater as adversidades que se possam colocar no decorrer dos mesmos e de forma a mitigar os potenciais modos de falha. A constante otimização e evolução dos processos está diretamente relacionada com as exigências dos mercados que a jusante cada vez exigem um melhor controlo de qualidade e um rastreio mais controlado dos processos, produtos ou serviços prestados.

Considerando o que foi abordado na secção 2.1.5.2, um dos principais meios de identificação de uma embalagem de gases comprimidos consiste na pintura da ogiva das garrafas. Esta pintura é muito importante pois permite uma rápida identificação do tipo de gás que a embalagem contém seja em contexto de transportação, de utilização ou de emergência. É, portanto, de interesse para a empresa AL proceder à melhoria deste processo, recorrendo ao processo de pintura mais indicado, mais duradouro e que cumpra com o rigor técnico exigido pelo cliente final.

4.3.1 Caso de Estudo e Construção da Análise de Risco

Tal como indicado na secção 2.2, as garrafas de gás comprimido que são encaminhadas para os processos que integram a CAA são as de aço. Isto porque, para além do processo de decapagem ser agressivo para superfícies de metais de liga leve (alumínio), o processo de cura da tinta do corpo é um processo que requer energia térmica para que possa ocorrer a cura da mesma e, mais uma vez, os metais de liga leve não suportariam uma temperatura de cerca de 130 $^{\circ}C$ por, aproximadamente, 57 minutos (40 posições que avançam a cada 85 segundos), sem alterar a sua ductilidade.

Assim, o processo de pintura de ogiva ocorrido na CAA, apenas pode tratar garrafas de gás de aço de forma individual. Neste caso, todas as embalagens que cheguem ao CMD ou que partam dele, com material de construção seja aço e necessitem de preparação da superfície exterior são incluídas. Nestas, podem-se considerar todo o tipo de embalagens preparadas que sigam diversos tipos de circuito de manutenção, isto é, seja para reparação, seja para requalificação, sejam estas embalagens novas. Relativamente aos tamanhos de garrafas, as que são incluídas no conjunto de embalagens que carecem de um processo automático para poderem ser pintadas devido ao seu elevado volume, são embalagens entre as capacidades máximas de água de 20 L a 50 L.

É importante referir que as embalagens que chegam ao CMD possuem diversos tipos de ligas de construção, podem ser de diversos tamanhos (altura e diâmetro) e de diferentes feitios (formato de ogiva, formato de fundo da garrafa e espessura das paredes). Estas podem pertencer a três proprietários: à AL, à ALM ou ao próprio cliente final.

Para que seja possível avaliar o processo de pintura da ogiva ocorrido no CMD, foi desenvolvida uma análise de risco do tipo FMEA de modo a identificar os potenciais

modos de falha, suas potenciais causas e os efeitos das mesmas na imagem do produto final AL, isto é, de uma garrafa de gás de aço que efetue o percurso da CAA.

Atendendo aos procedimentos atualmente adotados para permitir a preparação da superfície exterior, nomeadamente, no que diz respeito às garrafas de gás anteriormente mencionadas, deve-se considerar o processo de escovagem da ogiva, todos os processos incluídos na CAA que possam, de alguma forma, estar relacionados com o processo de pintura da ogiva e todas as etapas a jusante que possam igualmente possibilitar a ocorrência de modos de falha. Através do estágio CMD, foi possível identificar 90 potenciais modos de falha para o processo de pintura da ogiva ocorrido na CAA.

A análise de risco contou, uma vez mais com o auxílio dos principais intervenientes diretos e indiretos neste processo de manutenção e a equipa de brainstorming foi, igualmente, a anteriormente mencionada na secção 4.2.1.

Por consenso da equipa, percebeu-se que o estado de pintura conforme da ogiva de uma garrafa ocorre quanto a tinta está com um aspeto visual meio brilhante e conforme, depois do tempo de espera da secagem; que a tinta com asperto mate pode ou não sair, depois do tempo de espera da secagem; e que a tinta com um aspeto muito brilhante, depois do tempo de espera da secagem, tem tendência a escorrer localmente ou em toda a superfície da ogiva da garrafa. Para cada um dos parâmetros de avaliação do risco, que integram a técnica FMEA, foram definidas as escalas de níveis (ver Tabelas 4.23, 4.24 e 4.25).

Tabela 4.23: Níveis para o parâmetro severidade (S) para a pintura da ogiva (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Escala de níveis para o parâmetro S (severidade)				
1	2	3	4	5
Tinta meio brilhante e conforme	Tinta mate que acaba por secar e não sai facilmente	Tinta mate que acaba por secar mas que sai facilmente	Tinta brilhante que escorre localmente	Tinta brilhante que escorre em vários locais da ogiva

A cada um dos modos de falha identificados, foram identificadas as potenciais causas, os efeitos ou consequências causadas e os métodos de controlo atualmente utilizados pela empresa. Foi atribuído um nível ao respetivo parâmetro de risco em análise e determinou-se o RPN.

Tabela 4.24: Níveis para o parâmetro ocorrência (O) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Escala de níveis para o parâmetro O (ocorrência)				
1	2	3	4	5
Nunca	Trimestral	Mensal	Semanal	Diário

Tabela 4.25: Níveis para o parâmetro deteção (D) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Escala de níveis para o parâmetro D (deteção)				
1	2	3	4	5
Sempre	Frequente	Ocasional	Rara	Nunca

A experiência da equipa multidisciplinar composta pelos RPs proporcionou a definição dos níveis de ocorrência em que cada um dos modos de falha se encontra, e o brainstorming efetuado também permitiu a definição dos níveis de severidade e de deteção.

4.3.2 Etapas do Circuito com maior Influência na Pintura da Ogiva e Oportunidades de Melhoria

Com o principal objetivo de apontar os modos de falha mais críticos e considerando outros com influência na pintura da ogiva, deve-se identificar de forma mais rigorosa as causas que podem impactar a sua performance. Para tal, encontra-se ilustrado na Figura 4.25, as etapas com maior expressão na análise de risco efetuada e na qual é possível comparar indicadores importantes.

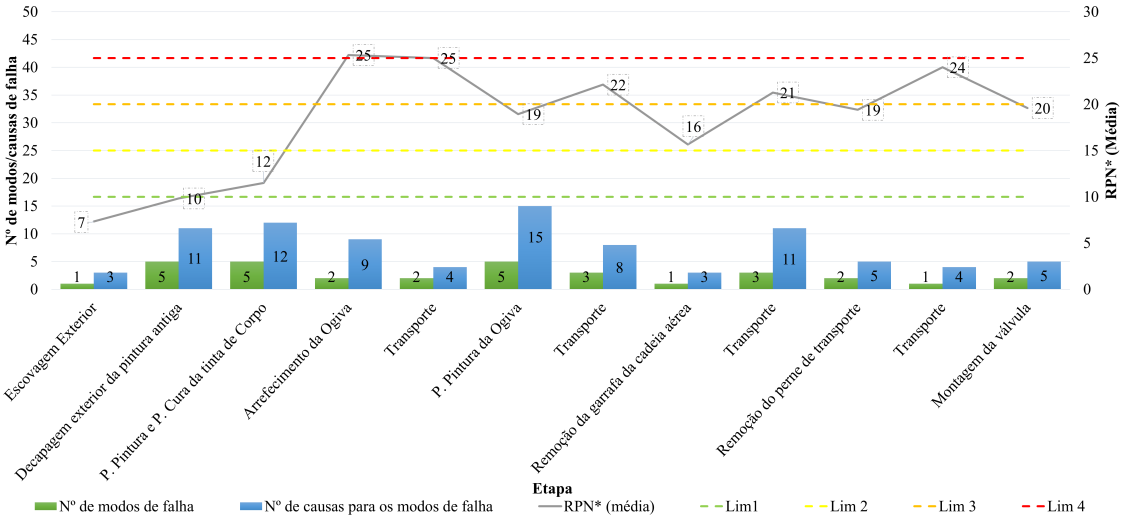


Figura 4.25: Gráfico síntese da FMEA efetuada à pintura da ogiva de uma garrafa de gás tratada no CMD.

Foram definidos níveis de risco e prazos de acordo com a gravidade do risco, com a

mesma configuração da secção 4.2.1 (ver Tabela 4.26).

Tabela 4.26: Limites e prazos de ação para os diferentes RPN (média) (obtida por *brainstorming* com a equipa).

Limites de ação	<15	15-19	20-24	≥ 25
Prazos de ação (RPN)	12 meses	10 meses	8 meses	6 meses

No gráfico da Figura 4.25 pode-se verificar que existe um franco e aumento do risco a partir da etapa de arrefecimento da ogiva da garrafa.

Das etapas com maior número modos de falha e causas que lhe dizem respeito tem-se o processo de pintura da ogiva. No entanto, este processo não se encontra com um nível de atuação muito elevado devido ao seu RPN (médio). Por outro lado, os processos de decapagem da garrafa, de pintura e cura do corpo da mesma têm um número significativo de causas para os modos de falha que se identificaram, mas têm níveis de risco mais baixos. A etapa de transporte entre a remoção da garrafa da CAA e a remoção do perne de transporte, é potencialmente alarmante umavez que se encontra no penúltimo nível de risco e tem um elevado número de causas para os três modos de falha que foram identificados.

As etapas que apresentam um maior risco para a pintura da ogiva são as etapas de arrefecimento da ogiva, o transporte que a sucede e o transporte anterior à montagem da válvula pelo que estes merecem uma atenção prioritária e um prazo de atuação menor.

A etapa de transporte entre o processo de pintura da ogiva e a remoção da garrafa da CAA, exige igualmente um prazo de ação elevado pois apresenta um risco elevado. Esta também é uma das etapas com maior número de causas para os seus modos de falha.

A etapa de montagem da válvula apresenta diversos riscos o que a faz inserir-se no nível médio de atuação.

Finalmente, no que se refere à escovagem exterior da garrafa, esta apresenta-se com o menor nível de risco da avaliação e apresenta poucas causas para um único modo de falha.

4.3.3 Identificação dos modos de falha mais críticos

Os modos de falha mais críticos requerem o menor prazo de ação e são os que maior expressão têm na análise de risco. É importante que os mesmos sejam analisados com maior pormenor e que se incida na sua mitigação, por forma a diminuir o risco global de falha da pintura da ogiva. Mais uma vez, foram efetuadas duas avaliações: pelo RPN e pela criticidade.

Abordagem pelo RPN

O RPN é o medidor de risco da técnica FMEA, sendo que o seu nível define a prioridade do prazo de atuação. Neste sentido, quanto mais alto este se encontra para um determinado modo de falha identificado, maior é a necessidade de criar ações de mitigação do risco.

Seguindo a mesma metodologia que na secção 4.2.3, foi possível, através do Considerando os exemplos presentes na secção 2.5, foi definido o "RPN threshold" equivalente a 25 (dois parâmetros do risco no nível máximo). Sobre esta condição, foram sinalizados 16 riscos, o que e corresponde a 17,8% dos modos de falha totais.

Abordagem pela criticidade

Foi feita uma análise uma análise tradicional de avaliação do risco, ou seja, com consideração na severidade e na ocorrência. O critério consistiu em situar o "threshold"no valor 16 (os dois parâmetros no nível 4), tal como no exemplo da secção 2.5.

A análise de risco com abordagem pela criticidade revelou que os modos de falha identificados já se encontram inseridos na abordagem pelo RPN, tal como se pode perceber pela Figura 4.26.

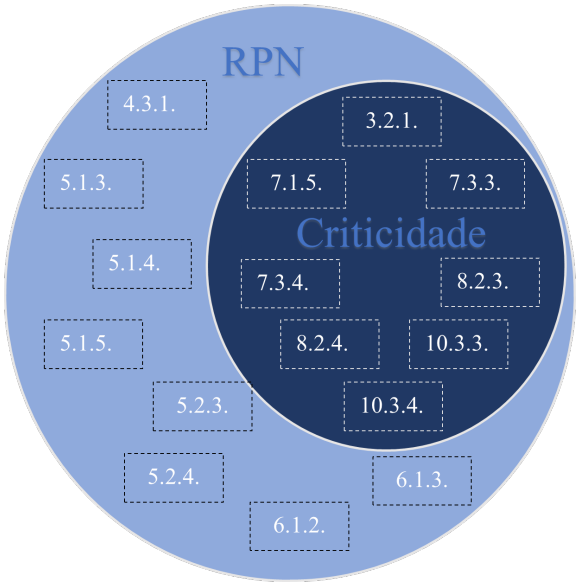


Figura 4.26: Esquema de inserção dos casos mais críticos para a pintura da ogiva.

Como se pode comprovar, o nível de deteção baixo diferencia os resultados obtidos para as duas abordagens. Nesse sentido, prevêem-se melhorias nesse campo. Esta diferença pode ser visualizada na Figura 4.27

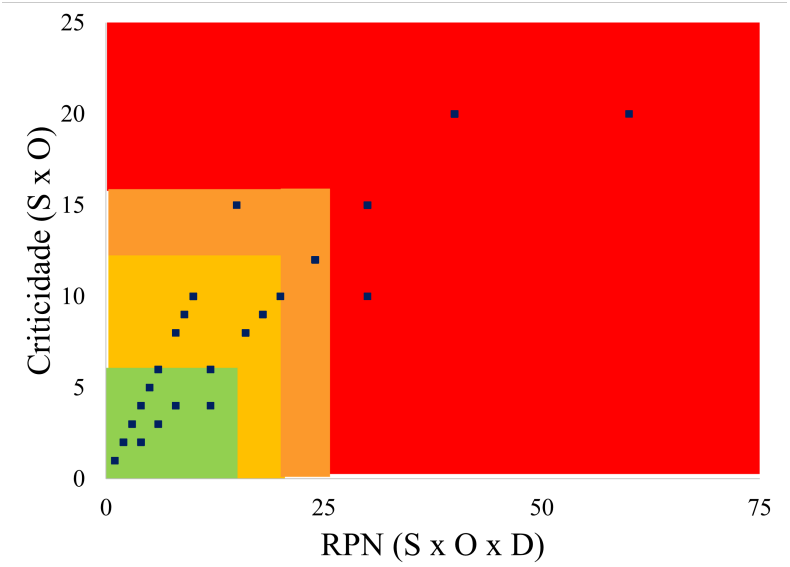


Figura 4.27: Criticidade *versus* RPN para a FMEA da ogiva da garrafa de gás.

Modos de falha muito críticos

A análise mais aprofundada dos modos de falha muito críticos deve ser efetuada de forma a minimizar os parâmetros de avaliação do risco e a melhorar os processos ou procedimentos atuais.

Tabela 4.27: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 1/8).

Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Pintura do corpo da garrafa	**3.2.1**	Ogiva pintada	Tinta da ogiva não adere e existem defeitos na pintura da mesma	**4**	Banda de proteção da ogiva mal ajustada ao tamanho da garrafa	**5**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032 A banda de proteção da ogiva é fixa pelo que independentemente do desenho da garrafa, existe sempre uma altura fixa na garrafa que não é pintada com tinta de corpo	**3**	**60**
Processo de cura da tinta do corpo no forno	**4.3.1**	Garrafa muito quente	Problemas na pintura da ogiva	**2**	Demasiado tempo no forno	**5**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O percurso das garrafas é efetuado em ziguezague ao longo da cabine. O forno está programado com uma temperatura suficiente para a conformidade da pintura.	**3**	**30**

Tabela 4.28: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 2/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	**5.1.3**	Ventilação não eficiente	Ventilação projetada sobre a ogiva não eficiente pode levar à pintura não conforme da ogiva	**3**	Défice no caudal de projeção do ar	**5**	Os ventiladores que projetam o ar atmosférico para	2	**30**
	5.1.4			**3**	Projeção situada apenas num local específico da ogiva (não há sistema mecânico de rotação)	**5**	a ogiva da garrafa têm um caudal não favorável ao processo de arrefecimento.	2	**30**
	5.1.5			**3**	Arrefecimento dá-se perto do forno pelo que o ar ambiente está quente	**5**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuída ao longo da cabine. O forno está programado para uma temperatura e parte desta é transmitida por condução para o exterior. Por outro lado, a porta de saída do forno está permanentemente aberta e as garrafas vêm muito quentes (cerca de 90ºC) o que faz com que a temperatura envolta do forno seja consideravelmente elevada. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da CAA.	2	**30**

Tabela 4.29: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 3/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores ogiva não eficiente	**5.2.3**	Arrefecimento da ogiva não eficiente	Arrefecimento da ogiva não eficiente pode levar à pintura não conforme	**3**	Projeção situada apenas num local específico da ogiva (não há sistema mecânico de rotação)	**5**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na CAA até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas c circundantes também irá transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**30**

Tabela 4.30: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 4/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores ogiva não eficiente	**5.2.4**	Arrefecimento da ogiva não eficiente	Arrefecimento da ogiva não eficiente pode levar à pintura não conforme	**3**	Arrefecimento dá-se perto do forno pelo que o ar ambiente está quente	**5**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O forno está programado para uma dada temperatura e parte desta é transmitida por condução para o exterior. Por outro lado, a porta de saída do forno está permanentemente aberta e as garrafas vêm muito quentes (cerca de 90ºC) o que faz com que a temperatura envolta do forno seja consideravelmente elevada. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**30**

Tabela 4.31: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 5/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Transporte desde o local de arrefecimento até à pintura da ogiva	**6.1.2**	Aquecimento da garrafa devido à massa que permanece quente	Arrefecimento da ogiva não eficiente pode levar à pintura não conforme da ogiva	**3**	Massa do corpo permanece a uma temperatura elevada	**5**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na CAA até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas c circundantes também irá transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	2	**30**
Transporte desde o local de arrefecimento até à pintura da ogiva	**6.1.3**	Aquecimento da garrafa devido à massa que permanece quente	Arrefecimento da ogiva não eficiente pode levar à pintura não conforme da ogiva	**3**	Garrafa uniformiza a sua temperatura na ogiva	**5**		2	**30**

Tabela 4.32: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 6/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Pintura da ogiva da garrafa	**7.1.5**	Pintura não eficiente	A falha na pintura da ogiva, obriga os RP's a adquirir ações preventivas ou corretivas para que a pintura seja conforme e garrafa não tenha necessidade de ser de novo colocada na cadeia aérea automática (não se descarta esta hipótese), no entanto, nem sempre este poderá estar disponível para monitorizar os processos não otimizados e que provocam a não conformidade na identificação do produto em causa	**5**	Garrafa com temperatura não favorável	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032 Quando existe uma não conformidade visível na pintura, o RP acaba por tentar reparar a mesma através da recolocação da garrafa na cadeia aérea automática para que esta volte a completar o ciclo de acabamento da superfície	2	**40**
	7.3.4	Tinta escorre		**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032 No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do set-point ser atingida.	2	**40**
	8.2.4	Tinta escorre		**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032 No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do set-point ser atingida.	2	**40**

Tabela 4.33: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 7/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	**8.2.3**	Tinta escorre	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeitos	**4**	ogiva parcialmente pintada com tinta do corpo	**5**	Na maioria das garrafas, foi identificado que parte da ogiva fica pintada com tinta do corpo da garrafa. Se esta interface não for bem feita, existe a possibilidade da tinta escorrer no local onde a tinta aquosa da ogiva sobrepõe a tinta de corpo.	2	**40**
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	**8.2.4**	Tinta escorre	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeitos	**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	4	No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do set-point ser atingida.	2	**40**

Tabela 4.34: Modos de falha mais críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás (Parte 8/8).

Etapa do Processo	ID	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	S	Potenciais Causas	O	Processos de Controlo Atuais	D	RPN
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	**10.3.3**	Tinta escorre	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**4**	ogiva parcialmente pintada com tinta do corpo	**5**	Na maioria das garrafas, foi identificado que parte da ogiva fica pintada com tinta do corpo da garrafa. Se esta interface não for bem feita, existe a possibilidade da tinta escorrer no local onde a tinta aquosa da ogiva sobrepõe a tinta de corpo.	2	**40**
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	**10.3.4**	Tinta escorre	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**4**	No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do set-point ser atingida.	2	**40**

A FMEA realizada, permitiu identificar oportunidades de melhoria a nível da pintura do corpo da garrafa, do processo de cura da tinta do corpo no forno, do arrefecimento da ogiva da garrafa, dos transporte desde o arrefecimento até pintura da ogiva, da pintura da ogiva e dos transportes da garrafa que ocorrem após a mesma.

4.3.4 Estudo dos modos de falha e suas potenciais causas

4.3.4.1 Tempo de arranque do sistema de temperatura do forno

Uma das principais causas apontadas para potenciais modos de falha que se possam vir a efetivar é o atual sistema de cura por energia térmica existente no CMD. Neste caso, a cura da tinta do corpo é efetuada num forno com 40 lugares para garrafas, sendo que para passar para o lugar seguinte, uma garrafa demora 85 segundos, o que equivale a aproximadamente 57 minutos para processar uma determinada garrafa. Este forno opera através de queima indireta, o que em termos de distribuição de calor não é efetuado de forma uniforme. Adicionalmente, o mesmo opera com um *set-point* de 130 $^{\circ}C$.

Considerando a conjuntura de condições, o forno demora um determinado tempo a aquecer, em particular, quando o seu sistema de calor se encontra desligado. O tempo requerido para que o forno se encontre funcional é de, aproximadamente, 20 minutos. A partir do estágio no CMD houve a possibilidade de identificar que, entre as pausas dos RPs, também pode ocorrer a paragem do sistema, o que implica um défice no calor recebido pelas garrafas que se encontram nesse mesmo momento na cabine de cura da tinta do corpo.

Em suma, é muito importante perceber que se a cura da tinta de corpo de um dado conjunto de garrafas não for bem realizada, vão-se efetivar determinados modos de falha e o risco de se obter uma garrafa não conforme aumenta significativamente.

4.3.4.2 Inércia térmica no arrefecimento

No local onde ocorre o arrefecimento da ogiva, existem diversas causas que podem originar modos de falha. Primeiramente, o meio envolvente às garrafas de gás, é potencialmente quente para um processo de arrefecimento, por o forno transmite energia térmica para o exterior através da cabine, e porque a porta de saída das garrafas é aberta ao exterior. Por sua vez, o processo de arrefecimento da ogiva realiza-se através da projeção de ar atmosférico recolhido por dois ventiladores instalados entre o forno e o processo de pintura da ogiva. Este processo de aquecimento é localizado sobre partes específicas da ogiva, uma vez que não existe sistema mecânico de rotação de garrafas nesse local da CAA. Em adição, o primeiro ventilador, ou seja, o ventilador do lado do forno, não se encontra bem alinhado com o lugar específico destinado à garrafa.

Devido ao facto de as garrafas saírem a uma temperatura elevada do processo de cura da tinta de corpo, i.e., do forno, e devido ao sistema de transferência de calor adotado,

considera-se que toda a sua massa constituinte se encontra com uma temperatura uniformizada. Tendo em consideração o processo de arrefecimento da ogiva, localizado e o meio envolvente às garrafas de gás que saem do forno, os lugares existentes entre o processo de arrefecimento e o processo de pintura da ogiva, pode-se aferir que o gradiente de calor criado na massa constituinte entre o local arrefecido e a restante garrafa é, tendencialmente, anulado através da transferência da zona mais quente para a zona mais fria. A uniformização da temperatura da massa constituinte da garrafa é considerada um potencial modo de falha.

Por outro lado, existe um fenómeno que tem de ser considerado: a capacidade da garrafa reter calor. Esta, é denominada por inércia térmica e acaba por ser um fator muito importante no que se refere à transferência de calor. No arrefecimento da superfície externa da garrafa, os ventiladores direcionam o ar para a parte superior da garrafa, no entanto, é necessário perceber que toda a massa constituinte da garrafa esteve exposta à temperatura fornecida pelo calor do forno. Neste sentido, considera-se que a garrafa se encontra a uma temperatura uniformemente distribuída ao longo da sua massa. O arrefecimento da ogiva da garrafa diminui simplesmente a temperatura da zona localizada, sendo que o calor da restante massa acaba por ser transmitido, após a estação de arrefecimento, para a massa que se encontra a uma temperatura mais baixa.

De acordo com esta analogia, uma garrafa de menores dimensões, ou seja, com menor área/unidade de volume tem uma resistência térmica maior que uma garrafa de maiores dimensões.

4.3.4.3 Tipo de tintas aplicadas na pintura

Com foco nos modos de falha que podem levar à não conformidade da pintura, pode-se considerar que o tipo de tinta escolhida para a pintura da ogiva tem afetação no aspeto visual e da durabilidade da mesma.

Neste sentido, é de referir que uma pintura com tinta em pó tem uma durabilidade superior a uma tinta líquida (ver Figura 4.28), com maior pronunciação ao ser aplicada sob superfícies de suporte não tratadas. Em termos de aspeto, estas duas opções também competem pois tanto uma como a outra opção são frequentemente utilizadas na pintura de peças, instrumentos e produtos concebidos nas mais diversas indústrias. No que se refere às condições a criar para a aplicação de uma ou de outra tinta, em particular, nas condições do suporte onde irá ser aplicada a tinta e do seu meio envolvente, existem diversas diferenças, que são discutidas na secção2.4.

A tinta aplicada na ogiva das garrafas preparadas pelo CMD, cuja folha de especificação se encontra no Anexo IV, é uma tinta de base aquosa e é considerada a opção mais viável, dadas as suas características que se adequam ao contexto de produção encontrado na fábrica.

Figura 4.28: Exemplo do desgaste da tinta em pó *versus* desgaste da tinta aquosa.

4.3.4.4 Estudo à qualidade da pintura da ogiva

A partir do estágio realizado no CMD foi possível registar modos de falha provenientes da pintura da ogiva com um efeito gravoso para a apresentação do produto final (ver Tabelas 4.35, 4.36 e 4.37).

De forma mais detalhada, pode-se perceber a diferença entre uma garrafa com a ogiva pintada de forma conforme (ver Figura 4.29) e outras na qual a ogiva se encontra com não conformidade devido à temperatura do suporte. Quando a temperatura da ogiva é demasiadamente elevada para a aplicação da tinta aquosa, ocorre a evaporação da água e a criação de pequenas bolhas de ar (ver Figura 4.30). Por sua vez, o suporte se encontra com uma temperatura inferior, a tinta aquosa tende a criar zonas heterogéneas(ver Figura 4.31), levando à falta de cobertura e à possibilidade de escorrer.

Perante uma não conformidade na pintura o RP pode proceder à recolocação da garrafa na CAA para que a sua superfície externa seja de novo tratada, no entanto, isto reflete um atraso na preparação de embalagens de alta pressão. Um retrocesso no processo origina uma diminuição da cadência de produção, uma vez que, uma determinada garrafa que ocupa um determinado lugar na cadeia, demora cerca de 2 horas e 45 minutos (sem considerar paragens) a completar uma volta na CAA, e um gasto desnecessário de recursos que são incluídos nos processos, nomeadamente, granalha, tinta e energia.

Para tal, é de evitar uma não conformidade na pintura da ogiva, para não comprometer nem o processo, nem a imagem do produto final da empresa.

É possível perceber qual o aspeto visual de uma garrafa cuja pintura da ogiva se encontra conforme versus uma garrafa cuja pintura da ogiva se encontra não conforme,

Tabela 4.35: Registos de pintura não conforme (Parte 1/3).

Não Conformidade Identificada	Imagem Registada	Possíveis Causas
Pequena projeção de tinta da ogiva para parte do corpo da garrafa de gás		Banda de proteção do corpo da garrafa (no local da pintura da ogiva) mal ajustada ou com acumulação de tinta; Pistolas de projeção de tinta na ogiva mal ajustadas ou com diâmetro do nó com dispersão elevada.
Projeção de tinta da ogiva para parte do corpo da garrafa de gás		Banda de proteção do corpo da garrafa (no local da pintura da ogiva) mal ajustada ou com acumulação de tinta; Pistolas de projeção de tinta na ogiva mal ajustadas ou com diâmetro do nó com dispersão elevada.
Pintura da ogiva com tinta que sai facilmente		Tinta do corpo é projetada sobre a ogiva pelo mau ajuste da banda da cabine de pintura de corpo; Temperatura da ogiva elevada; Tempo de secagem da tinta aquosa da ogiva insuficiente.
Escovagem da ogiva com elevada intensidade		Máquina de escovagem mal calibrada pelo RP
Escovagem da ogiva não retirou toda a tinta antiga		Falha do processo de escovagem da ogiva
Tinta da ogiva com aspeto mate		Temperatura da ogiva demasiadamente elevada para a aplicação da tinta aquosa

Tabela 4.36: Registos de pintura não conforme (Parte 2/3).

Não Conformidade Identificada	Imagem Registada	Possíveis Causas
Pintura da ogiva com pouca cobertura		Rotação da garrafa não eficaz; Tinta aquosa com má homogeneização (e.g. troca de tinta); Tempo insuficiente no processo de pintura da ogiva
Pintura da ogiva heterogénea e com pouca cobertura		Rotação da garrafa não eficaz Tinta aquosa com má homogeneização (e.g. troca de tinta); Temperatura do suporte inferior à necessária para uma boa cobertura; Tempo insuficiente no processo de pintura da ogiva
Detritos visíveis depositados na superfície da ogiva		Falha do processo de escovagem da ogiva; Garrafa com partículas provenientes da decapagem que originam a queda de partículas na superfície da ogiva que, fazem com que a tinta escorra.
Pintura da ogiva com gotículas de água que levaram a tinta a escorrer		Gotículas de água provenientes da cascata de água existente no processo de pintura da ogiva; Água em excesso na mistura de tinta (e.g. má homogeneização da tinta); Água em excesso na mistura de tinta (e.g. purga entre troca da tinta); Temperatura do suporte inferior à necessária para aplicação da tinta aquosa Queda de partículas na superfície da ogiva que, por gravidade, fazem com que a tinta escorra.

Tabela 4.37: Registos de pintura não conforme (Parte 3/3).

Não Conformidade Identificada	Imagem Registada	Possíveis Causas
Pintura da ogiva com tinta a escorrer em vários locais		Água em excesso na mistura de tinta (e.g. má homogeneização da tinta); Água em excesso na mistura de tinta (e.g. purga entre troca da tinta); Temperatura do suporte inferior à necessária para aplicação da tinta aquosa; Tempo da garrafa no lugar da pintura da ogiva excessivo; Queda de partículas na superfície da ogiva que, por gravidade, fazem com que a tinta escorra.
Pintura da ogiva com tinta a escorrer localmente		Água em excesso na mistura de tinta (e.g. má homogeneização da tinta); Água em excesso na mistura de tinta (e.g. purga entre troca da tinta); Temperatura do suporte inferior à necessária para aplicação da tinta aquosa; Tempo da garrafa no lugar da pintura da ogiva excessivo; Queda de partículas na superfície da ogiva que, por gravidade, fazem com que a tinta escorra.
Pintura da ogiva com demasiada cobertura que pode possibilitar a consequência de escorrer tinta		Espessamento da tinta (e.g. má homogeneização da tinta); Água em excesso na mistura de tinta (e.g. purga entre troca da tinta); Temperatura do suporte inferior à necessária para aplicação da tinta aquosa; Tempo da garrafa no lugar da pintura da ogiva excessivo; Queda de partículas na superfície da ogiva que, por gravidade, fazem com que a tinta escorra.

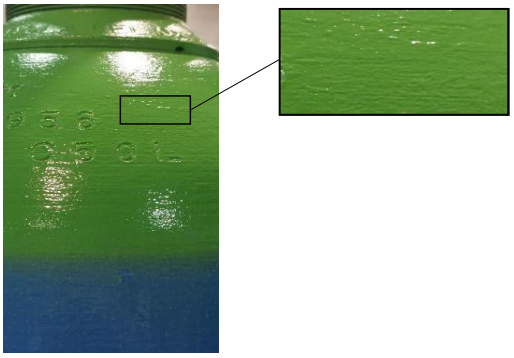


Figura 4.29: Aspeto da pintura da ogiva quando a mesma está conforme.

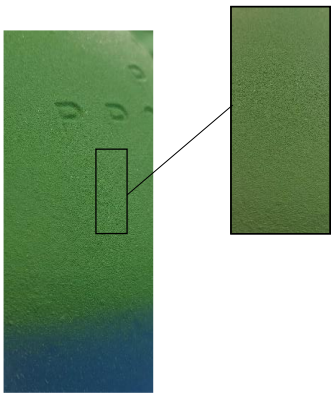


Figura 4.30: Aspeto da pintura da ogiva quando a a mesma está não conforme (suporte com temperatura elevada).

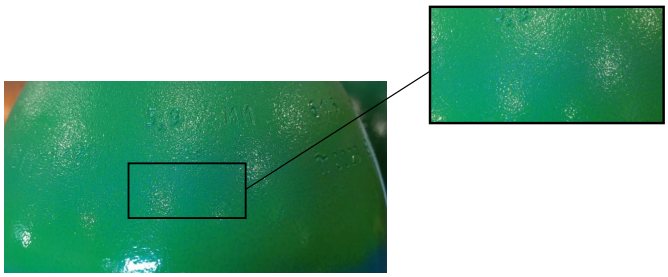


Figura 4.31: Aspeto da pintura da ogiva quando a a mesma está não conforme (suporte com temperatura baixa).

na Figura 4.32.

Figura 4.32: Exemplo do aspeto visual de duas garrafas (à esquerda uma garrafa conforme; à direita uma garrafa não conforme).

Para poder haver uma percecão do número de casos não conformes, foi efetuado um estudo à qualidade da pintura da ogiva.

Este estudo compreendeu 3 fases distintas e complementares entre si:

1. Questionário aos RPs que são responsáveis pelas etapas decorridas na CAA;
2. Estudo à conformidade da pintura da ogiva em contexto real;
3. Estudo às temperaturas ótimas de aplicação da tinta.

No questionário efetuado aos RPs que estão envolvidos nas etapas de preparação de superfície das garrafas de gás que seguem o circuito da CAA, constaram as seguintes questões:

1. Quais as cores de tinta que considera ser de difícil aplicação?
2. Quais são os problemas mais comuns na aplicação da tinta?
3. Costuma de encontrar mais falhas relativamente à tinta a escorrer ou à pintura ter um aspeto mate?

À primeira questão, obtiveram-se como respostas as tintas de cores preta, branca, verdes clara e escura e castanha.

A segunda questão reuniu diversas respostas distintas: "a tinta de cor verde clara cria bolhas e coze", "a tinta de cor branca tem pouca cobertura e, por norma, vê-se a cor do corpo", "a tinta de cor preta escorre muito", "a tinta de cor castanha parece empolada", "a tinta de cor verde escorre várias vezes", "a tinta de corverde escura tem bolhas".

A terceira questão, por ser mais direta, deveria esperar uma resposta rápida, no entanto, houve alguma indecisão por parte dos RPs em definir qual o caso mais comum. Apesar disso, a maioria acabou por dizer que existem mais casos relacionados com a pintura com aspeto mate.

Em segundo lugar, o estudo à conformidade encontrada no processo de pintura, resumiu-se à recolha de amostras de garrafas com uma das tintas mencionadas aplicadas e a avaliação da sua qualidade. O resultado deste estudo apresenta-se na Tabela 4.38.

Tabela 4.38: Controlo de qualidade ao processo de pintura da ogiva, ocorrido no *site* CMD.

		Número de garrafas com aspeto da pintura				
Tamanho da Amostra	**Cor de Tinta**	**Mate**	**Conforme (brilho suave)**	**Brilho e não escorre**	**Brilho e escorre**	**Sem cobertura**
127	Branca	70	31	18	-	8
124	Verde Clara	67	34	18	5	-
100	Castanha	45	28	24	3	-
67	Verde Escura	38	19	10	-	-
42	Preta	10	12	14	6	-

Finalmente, as medições das temperaturas do suporte, *i.e.*, à garrafa, nas estações da CAA posicionadas entre o forno e o processo de pintura da ogiva, foram efetuadas, com o auxílio do termómetro de infra-vermelhos, em dias aleatórios, o que permitiu, também num contexto real, obter os dados apresentados na Tabela 4.39.

Tabela 4.39: Estudo das temperaturas atingidas à superfície da ogiva da garrafa entre a saída do forno e o local do processo de pintura.

	Temperatura (ºC)			
	Valor Mínimo	**Valor Máximo**	**Média**	**Desvio Padrão**
À saída do forno	71,70	101,30	86,23	7,33
No primeiro ventilador	63,90	97,10	79,89	8,25
Entre ventiladores	65,60	89,70	75,36	6,06
No segundo ventilador	58,30	83,00	73,19	6,26
Após o arrefecimento da ogiva	64,70	76,60	71,38	3,14
No momento de aplicação da tinta da ogiva	55,40	87,70	66,24	7,44

No boletim técnico apresentado pelo fornecedor da tinta aquosa (no AnexoIV) é possível verificar que a temperatura do suporte deve ser "2 a 3ºC acima do ponto de orvalho",

o que não corresponde às temperaturas médias atingidas no local da pintura. A temperatura elevada da ogiva origina uma pintura não conforme e faz com que a água presente na tinta aquosa tenda a evaporar. Adicionalmente, é possível ver neste anexo que o tempo de secagem da tinta é relativamente elevado (aproximadamente 1h) pelo que as garrafas não devem estar encostadas umas às outras neste período.

Neste sentido, deve-se garantir que a pintura da ogiva é efetuada de acordo com as recomendações do fornecedor da tinta e que as condições do meio envolvente não são prejudiciais para a mesma. Por outro lado, o tempo de secagem deve ser cumprido com um certo rigor técnico.

4.3.4.5 Prevenção da perpetuação de modos de falha até às etapas finais de acabamento

Acumulação de partículas provenientes da decapagem na gola da garrafa e pintura da gola

Um dos modos de falha que pode estar relacionado com a não conformidade da pintura da ogiva é de facto a acumulação de granalha na zona da gola, podendo ainda acumular-se muito perto do gargalo da garrafa. Este modo de falha ocorre na camara de decapagem e pode repercutir efeitos a jusante, sob consequência de aumento do risco da garrafa chegar ao cliente com não conformidades.

No procedimento que envolve a colocação do perne/mecanismo de transporte de garrafas na CAA, tem incluída uma peça de proteção da gola da garrafa que é ajustada ao mesmo (ver Figura 4.33) e tem como principal função, servir de proteção na camara de decapagem da superfície exterior da garrafa, na qual existe a projeção de granalha em diversas direções. No entanto, estas peças de proteção foram feitas com um material maleável que acaba por se deteriorar facilmente depois de percorrer um determinado número de ciclos na CAA (ver as Figuras 4.33 e 4.34).

Por outro lado, como é maleável e se deteriora facilmente, esta peça acaba por ganhar folga na zona onde se ajusta ao perne de transporte, o que facilmente permite que percorra um caminho ascendente, ficando sem efeito a proteção da gola/gargalo da garrafa.

A partir destes modos de falha, a consequência passa pela decapagem da rosca onde encaixa o capacete, ou seja, a rosca da gola, e uma franca quantidade de granalha acumulada nas superfícies planas da garrafa, que normalmente, são entre a construção da gola e do gargalo da garrafa e para determinadas garrafas, a própria gola. As Figuras 4.35, 4.36 e 4.37 são exemplo visual do modo de falha.

Figura 4.33: Estado de deterioração de uma das atuais peças de proteção da gola da garrafa no CMD (vista inferior).

Figura 4.34: Estado de deterioração de uma das atuais peças de proteção da gola da garrafa no CMD (vista lateral).

Figura 4.35: Local de acumulação de partículas de granalha, na gola com garrafa na CAA e com peça de proteção atual do CMD.

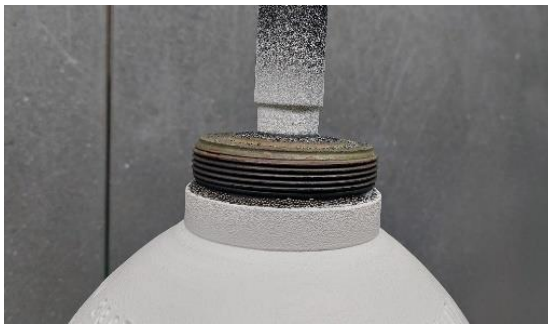


Figura 4.36: Local de acumulação de partículas de granalha na gola, com garrafa na CAA e sem peça de proteção atual do CMD.

Figura 4.37: Local de acumulação de partículas de granalha, depois de removido o perne de transporte na CAA.

Outro modo de falha que pode ocorrer aquando da falha da proteção da gola/gargalo por parte da peça ajustada ao perne é a pintura deste local no momento em que se efetiva o processo de pintura da ogiva (ver Figura 4.38) . O que foi identificado é que apesar da peça de proteção deste local poder não subir no processo de decapagem por se encontrar minimamente justa ao perne de transporte de garrafas, sobe frequentemente no local de arrefecimento da ogiva antecedente à pintura da ogiva por ação do ar ejetado pelos ventiladores (ver Figura 4.39).

Figura 4.38: Peça de prroteção da gola levantada por influência do ar ejetado pelos ventiladores, na zona de arrefecimento da ogiva no CMD.

Figura 4.39: Exemplos de pintura da gola de garrafas de gás no CMD.

Uma das possíveis consequências da acumulação de granalha nas superfícies planas da garrafa e mais perto do gargalo da garrafa, é a entrada de granalha para o interior da garrafa, que pode ocorrer no momento da remoção do perne de transporte de garrafas ou a jusante da CAA. Entre outros problemas associados, entrada de granalha no interior da garrafa permite a contaminação do produto final e o eventual alojamento de partículas nos sistemas associados às válvulas que podem ser fator suficientemente gravoso para uma reclamação por parte do cliente da AL.

Como forma de evitar que este modo de falha se efetive, existe um "soprador" de ar após processo de pintura da ogiva, no entanto é importante perceber que a acumulação de granalha a gola/gargalo versus a pintura deste local do ogiva origina a colagem das partículas de granalha à superfície, pelo que é importante que se criem medidas de mitigação do risco que previnam, com a maior brevidade modos de falha que se possam vir a perpetuar e a agravar ao longo do circuito de manutenção.

Outra questão abordada na FMEA é o facto de, com a movimentação da garrafa pela CAA, o sopro das partículas e a força da gravidade exercida, pode ocorrer a queda de partículas para o local da pintura da ogiva com uma probabilidade elevada de criar, por gravidade, a não conformidade da pintura da ogiva que pode não ter secado até à remoção por sopro de partículas. Foram identificadas garrafas com queda de partículas na zona da ogiva, como se pode ver nas Figuras 4.40 e 4.41.

Figura 4.40: Exemplo da visível queda de partículas de granalha na parte superior da ogiva.

Figura 4.41: Exemplo mais aproximado da queda de partículas de granalha na ogiva.

4.3.5 Medidas de Mitigação Propostas

4.3.5.1 Nova peça de proteção do gargalo da garrafa de *nylon 6*

Relembre-se o modo de falha associado à retenção de partículas de granalha nas zonas planas e perto do gargalo da garrafa de gás que passa pela preparação cedida pela CAA. No sentido de mitigar que se repercutam modos de falha e eventualmente os seus efeitos se venham a agravar ao longo do curso da manutenção, existe o interesse de prevenir o que possa acontecer durante a decapagem da superfície externa da garrafa ao invés de tentar remediar após o processo ser executado.

Assim, é muito importante que, primeiramente, a camara de decapagem siga o plano de intervenção para recolha de detritos, limpeza dos filtros e do sistema de recirculação que, devido à construção do próprio sistema integrado de decapagem, torna-se uma solução arcaica e que requer um cuidado especial. É importante perceber que a camara de decapagem, para além de arcaica é construída sob uma cabine com um mau isolamento o que permite a projeção de granalha para o exterior e possibilita a contaminação do meio envolvente que, devido a movimentações e a correntes de ar convectivas naturais, se pode agregar num local indesejado ou vir a constituir uma fonte de impurezas que possam ser contidas no interior da garrafa de gás que segue para produto final.

Para poder evitar qualquer meio ou fonte de contaminação, existe uma crescente preocupação em antecipar que se efetive um potencial modo de falha, que possa causar um efeito muito negativo no produto AL. Outrora já identificado, o problema associado à contaminação das garrafas por granalha, despoletou duas ações de mitigação do risco: a criação de uma peça maleável justa ao perne de transporte de garrafas na CAA e o procedimento, executado pelo RP responsável pelas operações ocorridas na cadeia, de sopro da granalha, após o processo de pintura da ogiva e antes da remoção da garrafa da CAA.

De forma resumida, a proteção do gargalo/gola da garrafa, por ser de um material maleável, deteriora-se facilmente na camara de decapagem e permite a acumulação de partículas de granalha; para além disso, não está adaptada a todos os modelos de garrafas preparadas no CMD. Isto levou a incluir o procedimento de sopro da granalha, num local onde o RP poderia chegar facilmente, no entanto devido ao volume de trabalho não se

torna fácil cumprir com rigor técnico este procedimento; por outro lado, partículas de granalha que recebam tinta nos processos de pintura de corpo ou de ogiva, ficam aderidas à superfície na qual assentam e chegam ao processo de sopro e têm elevado risco de não sair.

Como a ideia original de proteção da parte do gargalo/gola da garrafa de gás da acumulação de granalha tem chances de ser viável se for construída de forma mais eficaz, foi desenvolvida uma nova peça de proteção, com ajuste para os diversos tipos de garrafas que são tratadas na CAA. Para tal, foi necessário efetuar as medições necessárias às alturas das roscas das golas das garrafas de aço e aos diâmetros (que são uniformemente construídos com as mesmas dimensões). Como a peça assenta na parte superior da garrafa, apenas foi necessário recolher a altura das maiores roscas das golas e incluir uma altura de poucos milímetros para que não fique totalmente restrita aos tamanhos presentes no CMD no momento das medições.

O desenho de conceção da peça teve diversos intervenientes, como foi o caso dos RPs Carlos Mesquita e António José Oliveira e o colaborador da empresa AJF, Ionut Diacu. Inicialmente, como a acumulação se efetivava em zonas planas, foi necessário conceber uma peça que fosse de forma cónica ou piramidal de forma a propiciar a queda por gravidade da granalha projetada para a zona superior da garrafa.

O primeiro modelo foi desenhado com o auxílio do *software Paint 3D* (ver Figura 4.42) e foi concebido com nylon 6 e de forma a que a peça de proteção fosse deslocável ao longo do perne principal de transporte, com uma ranhura em «L» invertido, como é possível visualizar nas Figuras 4.43 e 4.44. No entanto, depois de duas voltas ao serviço na CAA, foi possível verificar que a mobilidade da peça ao longo do perne através da ranhura nele inscrita, era razão suficiente para a acumulação de granalha nesse mesmo local e as partículas de granalha acabavam por passar para dentro da peça, como é possível verificar pela Figura 4.45.

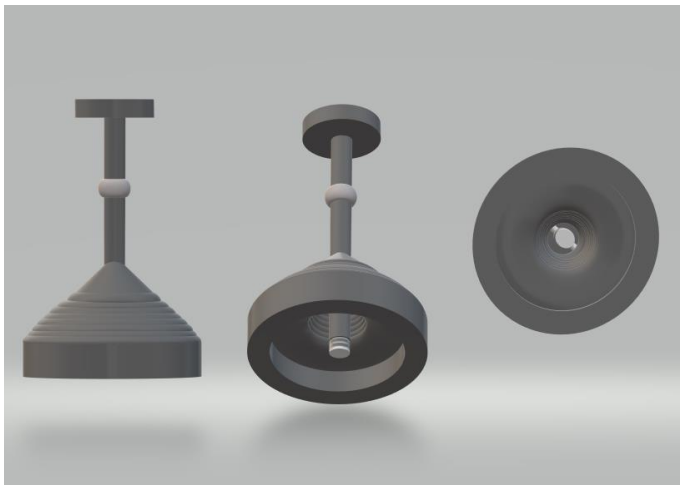


Figura 4.42: Modelo da peça de proteção da gola das garrafas de gás que sejam preparadas na CAA (com recorrência ao *software Paint 3D)*.

Figura 4.43: Primeiro modelo de peça de proteção da gola, com implementação na CAA.

Figura 4.44: Vista superior da peça de proteção da gola da garrafa usada na CAA.

Figura 4.45: Vista inferior da peça de proteção da gola da garrafa após a segunda volta no circuito da CAA.

Assim, houve uma necessidade de melhorar o desenho da pela de proteção para uma peça que para além de deslocável, fosse suficientemente protetora da parte superior da garrafa. Com o mesmo protótipo, melhorou-se a peça desenvolvida, retirando o perne transversal que deveria propiciar o movimento ascendente e descendente da peça ao longo do perne de transporte e colocaram-se o-ring no interior da peça de forma que a interface entre a peça protetora e o perne fosse totalmente justa (ver Figuras 4.46 e 4.47).

Figura 4.46: Segundo modelo e resultado final da peça de proteção da gola, com implementação na CAA.

Figura 4.47: Marcação visível dos *O-ring* incluídos na nova peça de proteção da gola e efetiva proteção contra partículas de granalha.

Para a primeira volta na CAA, os resultados foram muito promissores, pois ao serviço de uma gola com um ângulo ligeiramente inclinado, não ocorreu acumulação de partículas junto ao gargalo da garrafa (ver Figura 4.48). Para a segunda volta, decidiu-se

colocar o perne com a nova peça de proteção numa garrafa cujo desenho da gola potência a acumulação de granalha neste local. Os resultados, expostos nas Figuras 4.48 e 4.49, são favoráveis à implementação desta melhoria, uma vez que houve muito menor acumulação de granalha na zona perto do gargalo da garrafa (apesar da ligeira acumulação perto da rosca da gola), quando se compara com a situação obtida para as peças de proteção anteriores. É de relevância notar que em nenhuma destas etapas, houve ação do soprador de granalha, pelo que esta etapa integrada no procedimento pode ser suprimida, economizando tempo ao RP para se poder dedicar a outra tarefa.

Figura 4.48: Resultado da primeira volta no circuito da CAA para garrafas de com esta tipologia de gola.

Figura 4.49: Resultado da segunda volta no circuito da CAA para garrafas de com esta tipologia de gola.

4.3.5.2 Câmara termográfica para determinar a temperatura das garrafas

Para o controlo da temperatura das garrafas de gás que saem do forno de cura e posterior aplicação da tinta aquosa no local da ogiva, é sugerida a aquisição de uma câmara termográfica. As câmaras termográficas são uma opção amplamente usada nas indústrias, principalmente para controlar de forma automática as temperaturas dos suportes. As indústrias com maior recorrência a este tipo de soluções são a alimentar, a automóvel, a elétrica e eletrónica e todas as aplicações que envolvam o embalamento e se conclua a necessidade de identificar, por diferença de temperaturas (que despoleta um contraste), os tempos de aplicação de tinta, por exemplo. Esta é uma aplicação dispendiosa, mas que monitoriza muito bem o problema atual de controlo da temperatura do suporte identificado. A empresa FLIR apresenta diversas opções muito úteis para os mercados aplicados. Exemplos são ilustrados nas Figuras 4.50 e 4.51.

Figura 4.50: Exemplos de câmaras termográficas da marca FLIR (disponível em [73]).

Figura 4.51: Exemplo de aplicação da machine vision no embalamento de garrafas (disponível em [73]).

As especificações destes produtos podem ser consultadas no *website* `https://www.flir.com/browse/industrial/fixed-thermal-cameras/`.

4.3.5.3 Aumento da altura da banda de proteção presente na câmara de pintura do corpo

Para que a pintura do corpo da garrafa seja efetuada, existe uma banda ou placa de proteção da ogiva fixa na câmara de pintura do corpo que deve evitar a pintura dessa mesma zona.

No sentido da melhoria da pintura da ogiva, foi possível ter a perceção de que uma zona do suporte não tratada, por exemplo, com tinta do corpo, acaba por criar uma película plástica que impede que a tinta aquosa aplicada nesse local não adira à superfície. Quanto maior é a zona da ogiva pintada por tinta pertencente ao corpo, maiores são as não conformidades apresentadas na garrafa de gás.

Nesse sentido, propõe-se o aumento da placa de proteção instalada na câmara de decapagem com o objetivo de evitar a pintura da ogiva das garrafas.

4.3.5.4 Proposta de alteração da estação de pintura do ogiva, na CAA

A opção que se identificou como sendo a mais viável consiste na colocação da pintura da ogiva num local mais afastado do forno. Pelo que se percebeu por processos de pintura aplicados noutro tipo de processos e suportes, a aplicação da tinta aquosa deve ser o mais afastada possível das potenciais zonas de alerta. Neste sentido, a proximidade ao forno foi identificada como um potencial modo de falha que permite a alteração do ambiente no momento em que ocorre a pintura. A água presente na tinta é claramente afetada por esta temperatura, o que permite não conformidades na pintura da ogiva. Uma maior amplitude de movimento e alteração do local da pintura da ogiva para o local onde atualmente se encontra a estação de remoção de granalha, que com a peça de proteção da ogiva concebida é removida *a priori* na camara de decapagem, é viável. Assim, propõe-se essa alteração de local, que envolve um investimento logístico e não apresenta custos.

4.3.5.5 Método alternativo à decapagem

O método mais comum para preparar a superfície externa da garrafa é a escovagem externa da garrafa. Este, é potencialmente eficaz para a decapagem total da garrafa de forma eficiente e é um processo mais controlável que o processo de decapagem atual. Por outro lado, existem outras técnicas que podem ser adotadas e são igualmente viáveis do ponto de vista do tratamento externo de superfície. Apesar disso, é importante considerar quais os mais indicados para os tipos de materiais de construção da garrafa (ver Tabela 4.40) [56].

Tabela 4.40: Métodos de decapagem de superfícies metálicas, de acordo como tipo de material de construção da garrafa de gás [56].

Garrafas de gás de liga de alumínio	Garrafas de gás de aço
Projeção de zinco	Projeção de aço inoxidável
Projeção de alumínio	Projeção de cerâmica
Projeção de cerâmica	Projeção de vidro
Projeção de vidro	-

4.3.5.6 Novo sistema de pintura

Tinta líquida aquosa, sem cura

Noutros centros do grupo, existe uma forte adesão à pintura exterior das garrafas com tinta de base aquosa. Este tipo de aplicação, traz algumas vantagens a nível ambiental, no entanto, em termos de durabilidade não é tão boa como a tinta a pó termoendurecível. Neste sentido, apesar de uma pintura líquida permitir um maior controlo no que se refere à linha de divisão entre a zona da ogiva da garrafa e o corpo, existem algumas desvantagens que têm de ser consideradas. De qualquer das formas, existem máquinas disponíveis no mercado destinadas à pintura líquida automática. A marca L.Rönning apresenta soluções viáveis para esse mesmo efeito. A escolha da tinta aquosa é crítica para este processo não conter modos de falha.

Polímeros condutores, uma futura aposta

Uma das soluções estudadas atualmente são os polímeros condutores, no entanto, existem condições de aplicação especiais que devem ser consideradas [59]. Estes podem ser adicionados às tintas convencionais e ser substitutos dos compostos orgânicos [59]. Os estudos efetuados aplicam os polímeros condutores de forma individual, como um revestimento de superfície primário antes de adicionar a tinta convencional, como mistura com um polímero convencional e como aditivo em tintas convencionais orgânicas [59]. De entre as investigações feitas à sua aplicabilidade, a que, pareceu, à partida, apresentar resultados promissores, no que concerne aos fenómenos de corrosão, foi a que aplica os polímeros condutores como um primário. Apesar disso os estudos não são suficientes para comprovar a sua eficácia [59]. Em adição, os estudos que implicam a mistura de polímeros condutores com polímeros convencionais permitiram descobrir que as propriedades de proteção do metal, contra contaminantes potencialmente envolvidos nos fenómenos corrosivos tais como o oxigénio, a água e outras impurezas, são mais eficazes [59].

Particularmente, estudos comprovam que a adição de derivados de politiofenos a revestimentos de resina epoxi é promissora [59]. A capacidade que os polímeros condutores têm de se difundir na tinta e ser libertos para a atmosfera é um dos maiores desafios que as novas tecnologias enfrentam e é necessário criar novas formas de homogeneizar estes componentes com a base da tinta utilizada para pintar a superfície metálica [59].

Adicionados em pequenas quantidades, os polímeros condutores não alteram as propriedades da tinta e fornecem uma boa proteção a longo prazo sem que o ambiente e a saúde sejam prejudicados [59]. Permanecendo em estudos experimentais, esta pode ou não vira a constituir um avanço na dinâmica envolvida nos processos de pintura de componentes propensas à corrosão, como é o caso da superfície das garrafas de gás a alta pressão [59].

Sistema de cura com radiação UV

Um tipo de pintura em exploração nas diversas indústrias que incluem processos de pintura nas suas atividades é a tinta com cura de radiação UV. Este é um mercado promissor principalmente para metais leves e para outro tipo de materiais que podem alterar a sua estrutura com o aquecimento elevado que as tintas de polímeros requerem.

As principais vantagens que se verificaram com a recorrência a este tipo de tintas são:

- Produção aumenta: uma vez que as garrafas de alumínio podem ser incluídas na CAA;
- Válvulas podem ir à pintura: não há necessidade de retirar a válvula quando a garrafa vem apenas para reparações;
- Estado de secagem das garrafas assegurada até ao final do circuito;
- Não ocorre contaminação interna da garrafa;
- Corrosão externa não ocorre tão facilmente, havendo uma menor rapidez da deterioração do material constituinte da garrafa e, consequentemente, da sua espessura.

No sentido de apurar se esta seria uma solução viável, foram enviados e-mails para diversas empresas para tentar obter mais informações acerca da possibilidade de adaptar um ao contexto do CMD.

Obteve-se resposta por parte de uma das empresas, Heraeus Noblelight, que atua no mercado de sudoeste da Europa através do distribuidor Qurtech. Neste sentido, contextualizou-se a conjuntura e o atual sistema e discutiu-se o facto da inserção das garrafas de liga de alumínio nestes sistemas. Pelo que se conseguiu apurar, as tintas ultravioletas requerem uma fusão anterior à sua aplicação, para poderem estar na fase líquida e esta fusão é feita através de aquecimento a cerca de 65ºC. Apesar de se poder inserir uma garrafa de alumínio num sistema deste tipo, o tempo de exposição teria de ser reduzido. Por outro lado, quanto a garrafas com as válvulas inseridas, teria de se garantir, junto do fornecedor a possibilidade de expor as válvulas a radiação UV. Apesar destas tintas serem uma forte aposta e esta opção permanecer em aberto, não foi possível explorar esta opção pois existem poucas empresas a atuar no mercado português que disponibilizam essa opção.

4.3.5.7 Medidores de espessura de tinta

Finalmente, propõe-se a aquisição de um equipamento de medição da espessura da tinta, de forma a controlar, por controlo estatístico, a conformidade da pintura.

A espessura da pintura é um ponto importante, principalmente no que concerne à perceção das gravações que estão localizadas na ogiva e que são de extrema importância, como explicado na secção 2.1.6.

Estes medidores são muito acessíveis, largamente usados nas indústrias e considera-se um instrumento útil para o contexto atual e para um eventual controlo de qualidade da pintura de forma a verificar regularmente a conformidade da pintura.

4.3.6 Nova Avaliação do Risco

Propostas as ações de mitigação, é necessário efetuar uma nova avaliação do risco, através da escolha dos novos níveis para os parâmetros analisados. No Apêndice E apresentam-se várias ações de mitigação e a sua contribuição para os modos de falha e para a diminuição do risco.

Nas Tabelas 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45, 4.46, 4.47, 4.48 e 4.49 apresentam-se as ações de mitigação, o RPN antigo, os novos níveis em que se insere cada parâmetro, o RPN novo, a percentagem de redução do risco, a percentagem de redução no risco global e o custo estimado de cada medida, para os casosextremamente críticos.

Tabela 4.41: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 1/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Pintura do corpo da garrafa	**3.2.1**	Aumento da altura da banda de proteção da câmara de pintura do corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insufi-ciente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	**60**	4	2	2	**16**	**73%**	0,81%	Moderado
Processo de cura da tinta do corpo no forno	**4.3.1**	Manutenção periódica e cumprimento de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade;	**30**	2	2	**1**	4	**87%**	0,96%	Nulo

Tabela 4.42: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 2/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	**5.1.3**	Propõe-se a supressão do sistema de arrefecimento que é arcaico e pouco eficiente para a necessidade de arrefecimento. Após um estudo às temperaturas ótimas de aplicação, é possível comprovar a viabilidade da mudança da zona dedicada ao processo de pintura da ogiva para um local mais distante do forno (local de sopragem da granalha) e não afetado pelo calor fornecido pelo mesmo, assim a superfície da garrafa tem tempo de arrefecer até às condições ótimas de aplicação; Ressalvar a necessidade de resguardar a superfície da garrafa através da um toldo (por exemplo) até que o processo de pintura da ogiva se realize.	**30**	**3**	**1**	**1**	**3**	**90%**	1,00%	Nulo
	5.1.4		**30**	3	**1**	1	**3**	**90%**	1,00%	
	5.1.5		30	3	1	1	3	90%	1,00%	
	5.2.3		30	3	1	1	3	90%	1,00%	
	5.2.4		30	3	1	1	3	90%	1,00%	
	6.1.2		30	3	1	1	3	90%	1,00%	
	6.1.3		30	3	1	1	3	90%	1,00%	

Tabela 4.43: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 3/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Pintura da ogiva da garrafa	**7.1.5**	Proteção superior (toldo) até ao local da pintura da ogiva para evitar deposição partículas na sua superfície; Manutenção periódica e cumprimento de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; a inclusão de um procedimento de limpeza semanal para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótima de superfície; Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	**40**	5	**2**	1	**10**	**75%**	0,83%	Elevado

Tabela 4.44: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 4/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Pintura do corpo da garrafa	**7.3.3**	Aumento da altura da banda de proteção da câmara de pintura do corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	**40**	**4**	**2**	**2**	**16**	**60%**	0,67%	Moderado

Tabela 4.45: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 5/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Pintura da ogiva da garrafa	**7.3.4**	Proteção superior (toldo) até ao local da pintura da ogiva para evitar deposição partículas na sua superfície; Manutenção periódica e cumprimento de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; a inclusão de um procedimento de limpeza semanal para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótima de superfície; Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	**40**	5	**2**	1	**10**	**75%**	0,83%	Elevado

Tabela 4.46: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 6/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	**8.2.3**	Aumento da altura da banda de proteção da câmara de pintura do corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	**40**	**4**	**2**	**2**	**16**	**60%**	0,67%	Moderado

Tabela 4.47: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 7/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	**8.2.4**	Proteção superior (toldo) até ao local da pintura da ogiva para evitar deposição partículas na sua superfície; Manutenção periódica e cumprimento de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; a inclusão de um procedimento de limpeza semanal para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótima de superfície; Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	**40**	5	**2**	1	**10**	**75%**	0,83%	Elevado

Tabela 4.48: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 8/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	**10.3.3**	Aumento da altura da banda de proteção da câmara de pintura do corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	**40**	**4**	2	2	**16**	**60%**	0,67%	Moderado

Tabela 4.49: Ações de Mitigação propostas para os modos de falha críticos para a pintura da ogiva da garrafa de gás e reavaliação do risco (Parte 9/9).

Etapa do Processo	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	Redução do risco	Redução do risco global	Custo Estimado
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	**10.3.4**	Proteção superior (toldo) até ao local da pintura da ogiva para evitar deposição partículas na sua superfície; Manutenção periódica e cumprimento de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; a inclusão de um procedimento de limpeza semanal para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótima de superfície; Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	**40**	5	**2**	1	**10**	**75%**	0,83%	Elevado

Os novos parâmetros foram avaliados, de acordo com as medidas de mitigação propostas. Pode-se visualizar a análise completa no Apêndice E.

Através da análise dos mais críticos, é possível concluir que, caso as medidas de mitigação propostas sejam aplicadas, pode ocorrer a supressão da estação ou etapa de arrefecimento da ogiva da garrafa. Esta ação, implica a mudança na disposição da estação do processo de pintura da ogiva e reduz o risco de afetação pela temperatura oriunda do forno de cura.

O somatório das afetações sobre o risco global, por parte dos casos muito críticos superioriza os 14%. A redução total do risco obtida com a aplicação das medidas de mitigação situa-se, aproximadamente, no valor de 64,4%.

As matrizes de risco que se seguem nas Figuras 4.50 e 4.51 demonstram bem a diferença no parâmetro da ocorrência do modo de falha.

ANTES

Tabela 4.50: Matriz de risco antes de aplicar as medidas de mitigação para a pintura da ogiva.

Ocorrência	5	0	1	7	4	**0**
	4	0	1	14	0	4
	3	1	1	8	12	1
	2	2	3	4	4	6
	1	2	7	5	1	2
		1	2	3	4	5
		Severidade				

DEPOIS

Tabela 4.51: Matriz de risco prevista com a aplicação das medidas de mitigação para a pintura da ogiva.

Ocorrência	5	0	0	0	0	**0**
	4	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	2	0	3	10	4	4
	1	5	10	28	17	9
		1	2	3	4	5
		Severidade				

A Figura 4.52 apresenta o estudo de viabilidade da proposta de mitigação sugerida, nomeadamente, através dos quatro quadrantes assinalados, é possível perceber onde se situam os potenciais modos de falha muito críticos.

De acordo com o que se pode prever através do estudo realizado e das ações de mitigação propostas, prevê-se que, para os potenciais modos de falha considerados muito críticos, as respetivas soluções apresentadas reduzem de forma maximizada o risco total.

Por outro lado, pode-se perceber que existem modos de falha muito críticos cujo custo estimado se apresenta-se em valores maiores o que se prende com o facto da ação de

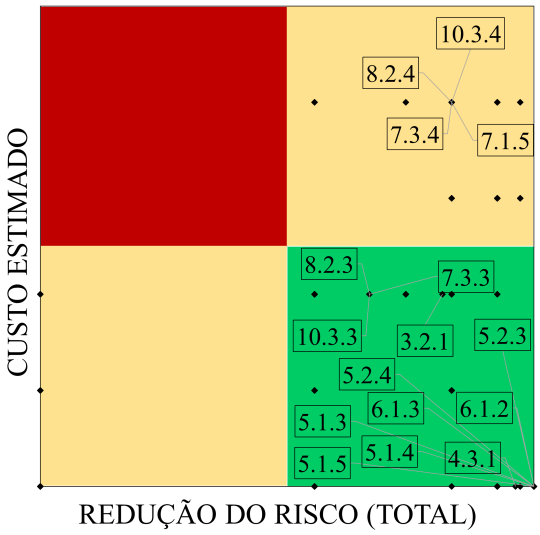


Figura 4.52: Custo estimado *versus* percentagem de contribuição para o risco global com os riscos muito críticos para a pintura da ogiva assinalados.

mitigação associada ser mais dispendiosa. No entanto, é de ponderar a sua aplicação, visto que são importantes para o risco global.

Para os modos de falha com uma percentagem de contribuição para a redução do risco total mais elevada e um custo relativamente acessível, prevê-se a sua aplicação com a melhoria do processo de pintura da ogiva e da qualidade da apresentação do produto final: embalagens de gases a alta pressão.

4.4 Cenário idealista: mais vantajoso e adaptado às potenciais falhas dos dois temas a melhorar no *site* CMD

O atual circuito de preparação de embalagens existente no CMD não se encontra otimizado. Os modos de falha mencionados na FMEA relativa à humidade contida nas garrafas, presente no Apêndice B, têm maior incidência sobre o conteúdo final de humidade presente num produto AL, no entanto, identificam-se potenciais falhas que podem despoletar uma conjuntura de efeitos.

Neste sentido, com rigor técnico e de forma a considerar todas as hipóteses que poderiam fazer parte da melhoria do circuito e, em conjunto, ajudar no seguimento de tratamento de uma garrafa de gás, o circuito teria a seguinte cadência: Triagem - Desmontagem da válvula - Inspeção Interna – Limpeza Interna – Tratamento da Superfície Externa - Prova Hidráulica e Registo da Garrafa – Gravação - Processo de Secagem (no banco de prova e com possibilidade de verificar humidade final) – Inspeção Periódica - Montagem da Válvula - Processos de Acabamento (Pinturas corpo e ogiva, etiquetagem e montagem do capacete).

De modo a avaliar a viabilidade desta solução, foi feito um *t-chart* que, de forma ligeira, reúne os prós e contras da adoção deste circuito para o tratamento de embalagens de alta pressão.

Tabela 4.52: *T-chart* do cenário mais vantajoso a nível de eficiência proposto.

Prós	Contras
Limpeza interna da garrafa, permite que matérias estranhas não prossigam para a etapa de testing e possibilita o tratamento da superfície interna, o que retarda o processo de degradação da superfície, a propagação de modos de falha da garrafa e o risco da embalagem tanto na posse da entidade de manutenção, como na sua utilização;	Investimento elevado nos recursos;
O tratamento da superfície externa anterior ao testing permite a eliminação antecipada de embalagens com falhas na superfície pouco visíveis e com razão para eliminação, por exemplo, garrafas com pingo(s) de solda que, por vezes, se identificam quando a superfície está preparada para a pintura e prevenir que a garrafa não conforme efetue processos, com gasto de recursos inerentes; O registo da garrafa deve ser efetuado no momento do testing num equipamento eletrónico modo um tablet, por exemplo.	Investimento elevado na reformulação do Layout do CMD;
A inclusão do processo de secagem no banco de prova limita as transferências da garrafa entre etapas e permite um melhor controlo da possível entrada de contaminantes no interior da garrafa de gás;	Quebra no desempenho de produção na preparação de embalagens de alta pressão aquando da reformulação do CMD;
A verificação final da humidade possibilita um controlo mais rigoroso no sentido da humidade contida no interior da garrafa de gás e beneficia a seleção de determinada garrafa para servir a um produto com uma determinada especificação exigida;	Mudança da tinta em pó para a tinta líquida, implica uma menor qualidade na pintura pois a primeira é mais resistente e tem uma durabilidade maior;
A partir deste seguimento, é possível isolar a garrafa com uma tampa até à montagem de válvula. A montagem da válvula seguida da inspeção interna permite a preservação do teor de humidade obtido após a secagem da garrafa e elimina quaisquer tipos de contaminação que possam vir a ocorrer a jusante;	
A pintura da garrafa com a válvula montada implica a colocação da garrafa numa máquina de pintura automática, eliminando os problemas relativos à temperatura da superfície e aplicação da tinta aquosa;	Se por um lado, se suprime a pintura manual das garrafas de alumínio pois agora estas podem ser pintadas na máquina de pintura, tal como as garrafas de aço, prevê-se uma quebra de produção na preparação de embalagens.
Os processos de acabamento finais da embalagem tais como a colocação das garrafas no quadro, a etiquetagem e a montagem do capacete têm de ser feitas no final, uma vez que o sistema de pintura está adaptado ao tipo de válvula	

Por outro lado, em alternativa, o documento interno "ALPH GP02 Workflow > Cylinder Maintenance Process" resume o processo de requalificação a ser executado nos centros ALPI. Este descreve o processo de preparação de embalagens de alta pressão do grupo AL e define que os procedimentos devem seguir a seguinte ordem:

1. Triagem das garrafas de gás acoplada com a inspeção visual externa (que deve ser reportada através de um registo de possíveis defeitos);
2. Inspeção da válvula e teste de verificação de pressão ou obstrução;
3. Esvaziamento da garrafa (se necessário) e posterior remoção da válvula, de acordo com procedimento exigido;
4. Inspeção visual interna, com um equipamento luminoso (com sonda), para averiguar a existência possíveis defeitos ou contaminantes;
5. Inversão e purga da garrafa de gás, com azoto ou ar comprimido, para remover matérias estranhas;
6. Testing, com pressão de teste equivalente a 1,5x a pressão de enchimento e medição da expansão volumétrica da garrafa;
7. Inversão e purga da garrafa de gás, com azoto ou ar comprimido, para remover matérias estranhas;
8. Secagem interna da garrafa de gás, para eliminar a água ou humidade presente no interior da garrafa, com duração de 1 hora ou mais, para melhores resultados;
9. Inspeção visual interna, com um equipamento luminoso (com sonda), para averiguar a existência possíveis defeitos ou contaminantes;
10. Inversão e purga da garrafa de gás, com azoto ou ar comprimido, para remover matérias estranhas;
11. Montagem da válvula, de acordo com o procedimento exigido;
12. Escovagem da superfície externa da garrafa de gás, numa cabine isolada e para a base, proceder à preparação da superfície com uma escovadora manual e com auxílio da máquina de inversão;
13. Pintura da superfície externa da garrafa de gás, consoante o tipo de produto;
14. Colocação das etiquetas na garrafa e do capacete, de acordo com o tipo de produto;
15. Processo de purificação da garrafa e análise inicial, de modo a eliminar todas as impurezas, através da imposição de vácuo (760 mmHg) por pelo menos 10 minutos, inserção de gás no interior da garrafa para efetuar a primeira análise ao produto, seguindo a especificação dos produtos ALPI e/ou exigidas pelo cliente;

16. Teste de fuga à garrafa de gás, para garantir que a garrafa não tem fugas antes de chegar ao cliente, de acordo com procedimento exigido;

17. Libertação da garrafa de gás, na qual deve haver uma verificação das condições de conformidade da garrafa.

5

Conclusões e Oportunidades de Melhoria Futura

Com uma postura favorável na Indústria dos Gases, a Air Liquide preocupa-se constantemente com a melhoria dos seus processos de produção, manutenção e preservação de gases, estando na linha da frente no que concerne às novas tecnologias que se aplicam ao seu tratamento. As embalagens de gases recarregáveis são um negócio promissor e apresenta uma vasta carteira de clientes. As embalagens de gases são comercializadas de forma profissional e com vista à fidelização dos clientes e existe uma contante preocupação em explorar novos mercados e indústrias.

O processo de manutenção consiste no ponto de origem da preparação do interior e do exterior de garrafas de gás e é determinante para o embalamento de um gás com qualidade de referência. Ter uma boa preparação da garrafa de gás constitui uma das etapas mais importantes e desafiadoras para a distribuição de um gás cuja especificação deve acordar com a necessidade do mercado a jusante, ao qual o produto deve servir. Aplicar com rigor técnico os procedimentos adequados constitui um importante passo para a melhoria dos processos e para a criação de produtos de alta qualidade.

Através de um estudo aprofundado que incidiu sobre a melhoria dos processos de preparação das garrafas de gases comprimidos distribuídos em contexto ibérico pela empresa Air Liquide, foi possível apurar potenciais falhas e causas e efeitos que delas possam advir. Foram contruídas duas análises de risco, recorrendo à análise FMEA. Em particular, estas incidiram sobre duas oportunidades de melhoria identificadas *à priori* pelo grupo: o conteúdo de humidade que está no interior das garrafas de gás que devem servir um gás ou uma mistura de gases e a pintura da ogiva de garrafas de gases comprimidos.

Relativamente à FMEA em incide sobre a humidade, foram identificados 212 potenciais modos de falha, dos quais 14 se pronunciaram como extremamente críticos, correspondendo a 6,6%.

Conseguiu-se concluir, a partir de um estudo sobre o impacto da exposição da garrafa de gás à atmosfera envolvente, que as oscilações de temperatura e humidade que ocorrem entre o dia e a noite imputam variações destes fatores no interior da garrafa e pode haver condensação nas suas paredes internas, o que se revela muito crítico para produtos com especificação na humidade inferior a 10 ppm. Para a maioria dos produtos industriais, não existem problemas relativamente ao conteúdo de humidade, no entanto no que concerne a produtos alimentares, medicinais, gamas *premium* e gamas de gases especiais, existe uma maior exigência.

Para além dos valores de humidade da especificação, os clientes não se vêm prejudicados nem é problemático haver determinada humidade no seu gás, não existem reclamações registadas com justificação relacionada com conteúdo de humidade e, nesse sentido, não acrescenta valor à empresa gastar recursos. No entanto, quando se se condiderar o problema do agravamento da condição interna da garrafa e a sua relação com a degradação da superfície interna das garrafas, foi provado que a corrosão e os contaminantes geram uma problemática agravada e abrangente a todo o tipo de gamas. Este tipo de condição interna, propicia a criação de reações entre o gás, a humidade e o metal e pode levar a uma falha precoce da garrafa, o que compromete a sua segura circulação, manutenção, etc.

Assim, é de reforçar o uso mais frequente e sempre que possível de RPV-NRV e principalmente em garrafas de gás ao serviço com O_2, CO_2, CO e suas misturas; uma correta manutenção que previna a entrada de contaminantes no interior da garrafa de gás e um correto tratamento e preparação que evite a inclusão de humidade em concentrações elevadas.

Por sua vez, através de um estudo à influência que a pressão poderia ter na humidade do gás a ser utilizado, concluiu-se que as partículas de água são comprovadamente projetadas para as paredes da garrafa quando a mesma se encontra com uma pressão muito alta e à medida em que se vai efetuado o seu esvaziamento, as paredes da garrafa vão desadsorvendo a uma taxa cada vez maior as partículas de água que nela estão retidas. Esta condição, aumenta a probabilidade de ocorrerem reações com a superfície metálica e, no caso das garrafas terem corrosão ou contaminantes, pode haver uma taxa de degradação prejudicial para o material da garrafa de gás.

Com o estudo efetuado, conseguiu-se provar que uma correta monitorização do circuito de manutenção, aplicando, por exemplo, tampas nas garrafas de gases inertes, no transporte e repouso da mesma entre processos, é possível evitar a contaminação por humidade do seu interior. A preservação da condição interna da garrafa de gás constitui um ponto fundamental para que o gás apresente os valores corretos e concordantes com a especificação do produto.

O processo de secagem que sucede a requalificação da garrafa, considerando o *hydrotesting*, é uma etapa preponderante para o conteúdo de humidade da garrafa de gás. Nesse sentido, foi melhorada a dinâmica que ocorre no processo de secagem através da otimização das transferências de massa e de calor que ocorrem no interior da garrafa durante a sua secagem. As tubagens que se encontram a jusante do aquecedor de ar comprimido foram isoladas, foram concebidas peças que proporcionam uma melhor secagem das zonas mortas da garrafa e potenciais zonas de acumulação de partículas de água. As varetas que devem ser introduzidas no interior das garrafas para efetuar a secagem foram redimensionadas de forma a potenciar a correta secagem. Por outro lado, foram propostas novas técnicas de inspeção do interior da garrafa de gás e foram apresentados aparelhos de medição de humidade para o caso que se torne mais viável aplicar.

Importa referir que foram propostos diversos cenários e soluções, de forma a haver

uma ampla opção de escolha.

Por outro lado, no que diz respeito à FMEA que incide na qualidade da pintura da ogiva, identificaram-se 90 potenciais modos de falha dos quais 16 são muito críticos, o que corresponde a 17,8%.

As cores da ogiva diferem de acordo com tipo de gás que as garrafas de gás comprimido contêm. A performance do processo de pintura da ogiva é claramente afetada pelo estado a que a sua superfície se encontra. Uma superfície tratada permite uma ligação melhor entre a tinta aquosa e o suporte.

A temperatura tem um papel fundamental para que a pintura esteja em conformidade. Para tal, propõe-se a aquisição de uma camara termográfica que possa monitorizar de forma eficiente o momento ideal para a aplicação da tinta aquosa na ogiva da garrafa.

Em adição, apurou-se que a qualidade da pintura da ogiva é francamente impactada pela quantidade substancial de partículas de granalha que se acumulam em torno da gola da garrafa de gás. Assim, foi proposta uma peça de proteção que demonstrou uma clara redução do número de partículas retidas na gola da garrafa. Por sua vez, a facilitação dos processos de finalização como a montagem do capacete e da válvula são substancialmente melhoradas pela aplicação desta peça de proteção.

Também foram propostos vários cenários, entre os quais a mudança da estação de pintura da ogiva para o local mais viável e longe do forno, com custo nulo associado e apenas envolvimento logístico. O aumento da banda presente na camara de pintura foi igualmente uma sugestão que depreende uma melhoria significativa na possível não conformidade apresentada por garrafas de gás pintadas na cadeia aérea automática.

Concluiu-se que a corrosão e os contaminantes mostraram-se, igualmente, prejudiciais para a imagem do produto que se pretente comercializar.

Reforça-se a ideia de que uma visão de prevenção é uma boa abordagem a adotar na execução dos processos, uma vez que o prolongamento de modos de falha pode agravá-los ou eventualmente provocar uma conjuntura de efeito dominó na produção das atividades de manutenção. A gestão do risco baseia-se nessa mesma ética e os riscos de segurança, de qualidade e de não conformidade devem ser colmatados com a adoção de ações de mitigação, que podem vir a ser incluídas nos procedimentos práticos no terreno.

5.1 Propostas de Melhoria Futura

- As garrafas que são pintadas manualmente, por exemplo, as garrafas de alumínio, podem seguir um circuito de manutenção mais rigoroso ao adotar a colocação da tampa logo após a secagem interna da garrafa. Propõe-se ainda o isolamento hermético da garrafa através da substituição da tampa de isolamento, pela válvula ao efetuar a sua montagem logo a seguir ao processo de secagem. Deste modo, existe uma conservação do estado final de secagem da garrafa entre o processo de secagem e o processo de montagem da válvula (através da colocação da tampa) e depois da

válvula colocada, procede-se à pintura manual, o que evita a possível exposição da garrafa;

- Inclusão de etapas de tratamento de superfície interna para embalagens cuja corrosão se encontra potencialmente prejudicial para o produto a incluir no interior da garrafa;
- Especial atenção a garrafas encaminhadas ao serviço de gases como o O_2, o CO_2, gases inflamáveis, corrosivos e tóxicos e pertencentes a gamas *premium* e gamas de gases especiais;
- Investigação sobre a possibilidade de associar um sistema autómato de análise de imagem ou vídeo acoplado à gravação em tempo real do interior de uma garrafa de gás de modo a identificar potencias modos de falha no seu interior.
- Possível aquisição de equipamento para uma alternativa ao *hydrotesting*;
- Investigação profunda às garrafas de gás que completam um circuito no CMD – averiguação da sua estrutura a nível molecular e do impacto da corrosão na contenção da humidade.
- Investigação relacionada com a influência da pressão exercida nas paredes da garrafa garrafa durante o processo de *hydrotesting*, quando a mesma é sujeita a 300 ou 400 bar, e a possível adsorção da água na superfície interna da garraf;
- Estudo teórico às temperaturas, pressões e tempos ótimos de secagem. Foi realizado um modelo que prevê o tempo de secagem, no entanto, por falta de informações relativamente às condições impostas no processo de secagem, este não foi considerado neste projeto;
- Definir, juntamente com as entidades reguladoras, nomeadamente o ISQ e a Apragaz documentos com o registo de incidências relacionadas com corrosão agravada na superfície, como base de comparação no momento da inspeção visual em circuito aberto;
- Adoção de um sistema de transporte de garrafas mais seguro e que não envolva transferências no terreno, mas apenas em zonas dedicadas a este fim;
- Nos locais de inspeção, colocar projetores que reflitam a luz com maior intensidade para as garrafas que estão a ser inspecionadas. Importante que a superfície externa (paredes laterais, gargalo e fundo), seja analisada com luz suficiente para evitar a possibilidade da garrafa de gás seguir para as etapas a jusante e o gasto desnecessário de recursos;
- A manutenção periódica dos equipamentos constitui um importante procedimento a incluir, de forma a preservá-los e a evitar que ocorram modos de falha.

Bibliografia

[1] F. G. Kerry. *Industrial gas handbook: gas separation and purification*. CRC press, 2007. ISBN: 978-0-8493-9005-0 (ver pp. 1, 2, 8, 9).

[2] *Global Industrial Gas Market Report 2021: Long-term Forecast to 2025 & 2030 with Focus on Nitrogen, Oxygen, Carbon Dioxide, Hydrogen, & Other Industrial Gas - ResearchAndMarkets.com*. May de 2021. URL: %7Bhttps://www.businesswire.com/news/home/20210519005450/en/Global-Industrial-Gas-Market-Report-2021-Long-term-Forecast-to-2025-2030-with-Focus-on-Nitrogen-Oxygen-Carbon-Dioxide-Hydrogen-Other-Industrial-Gas---ResearchAndMarkets.com%7D (acedido em 28/10/2021) (ver p. 1).

[3] A. Belloni. *Industrial gases processing*. John Wiley & Sons, 2008. ISBN: 978-3-527-31685-4 (ver pp. 1, 9, 13–18, 20, 23, 31, 32).

[4] A. Liquide. *Understanding the air separation process*. URL: https://www.airliquide.com/magazine/understanding-air-separation-process (acedido em 03/10/2021) (ver p. 2).

[5] Air Liquide. URL: https://www.airliquide.com/ (acedido em 03/10/2021) (ver pp. 2, 3).

[6] A. Liquide. *Gas Encyclopedia Air Liquide*. 2021. (Acedido em 03/11/2021) (ver pp. 2, 47).

[7] statista. *Market share of industrial gases worldwide in 2020, by company*. URL: https://www.statista.com/statistics/933494/global-market-share-industrial-gases-by-company/ (acedido em 29/10/2021) (ver p. 2).

[8] E. Almqvist. *History of industrial gases*. Springer Science & Business Media, 2003. ISBN: 978-1-4613-4962-4 (ver pp. 2, 7–9, 18).

[9] Air Liquide Portugal. *Acerca de nós*. URL: https://pt.airliquide.com (acedido em 03/11/2021) (ver p. 3).

[10] C. bibinitperiod C. E. O. Benoît Potier. *Full Year 2019 Results*. https://www.airliquide.com/sites/airliquide.com/files/2020/02/20/2019-air-liquide-annual-results-presentation-performance-improvement-high-level-investments-commitment-climate.pdf. Fev. de 2020. (Acedido em 15/10/2021) (ver pp. 3, 9, 11).

[11] C.
bibinitperiod C. E. O. Benoît Potier. *Full Year 2020 Results*. https://www.airliquide.com/sites/airliquide.com/files/2021/02/10/air-liquide-2020-presentation-outstanding-performance-resilient-business-model-well-positioned-future-growth.pdf. Fev. de 2021. (Acedido em 15/10/2021) (ver pp. 3, 9, 11).

[12] Meyers, Robert Allen and others. *Encyclopedia of physical science and technology*. Third Edition. Academic Press, 2001. ISBN: 978-0-12-227410-7 (ver p. 7).

[13] M. Chemistry. *Chemical characteristics of calcium carbide and its reaction with water*. URL: https://melscience.com/GB-en/articles/chemical-characteristics-calcium-carbide-and-its-r/ (acedido em 05/11/2021) (ver p. 7).

[14] A. Kojevnikov. "Pyotr Leonidovich Kapitsa Soviet physicist". Em: *Encyclopedia Britannica* (jul. de 2021). DOI: https://www.britannica.com/biography/Pyotr-Kapitsa. (Acedido em 07/11/2021) (ver p. 9).

[15] *REGULAMENTAÇÃO DO TRANSPORTE DE MERCADORIAS PERIGOSAS POR ESTRADA*. Standard. Genève, CH: Comissão Económica das Nações Unidas, jun. de 2020 (ver pp. 12–14, 21, 25, 32–35).

[16] E. .-. E. I. G. Association. URL: https://www.eiga.eu/ (ver p. 14).

[17] *Gas cylinders — Cylinder valve outlets for gases and gas mixtures — Selection and dimensioning*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, nov. de 2017 (ver pp. 14, 32).

[18] C. G. Association et al. *Handbook of compressed gases*. 4ª ed. Springer Science & Business Media, 1999. ISBN: 978-1-4615-5285-7 (ver pp. 18, 19, 67, 68).

[19] *GUIDANCE NOTE 36: GUIDANCE FOR THE USE, INSPECTION AND TRANSPORT OF CYLINDERS WITH VARIOUS DESIGN CODES*. Standard. Derby, GBR: BRITISH COMPRESSED GASES ASSOCIATION, 2017 (ver p. 19).

[20] A. L. Canada. *DISCOVER THE BLUESHIELD ADVANTAGE Welding, cutting and safety products Products Catalogue* (ver p. 20).

[21] *Gas cylinders — Design, construction and testing of refillable seamless steel gas cylinders and tubes — Part 1: Quenched and tempered steel cylinders and tubes with tensile strength less than 1 100 MPa*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, ago. de 2019 (ver pp. 21, 25).

[22] *Gas cylinders — Stamp marking*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, dez. de 2007 (ver pp. 21, 22).

[23] I. Cyl-Tec. URL: https://cyl-tec.com/product/cylinder-stamping/ (ver p. 22).

[24] *Transportable gas cylinders. Gas cylinder identification (excluding LPG) Colour coding*. Standard. Committee of the Regions, the European Economic e Social Committee, jul. de 2011 (ver pp. 23, 24).

[25] *Gas cylinders — Fitting of valves to gas cylinders*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, out. de 2010 (ver pp. 25, 27, 28).

[26] A. Products e I. Chemicals. *Safetygram 23: Cylinder Valves*. URL: %7Bhttps://www.airproducts.com/-/media/airproducts/files/en/900/900-13-107-us-cylinder-valves-safetygram-23.pdf?la=en%5C&hash=2C0E1D62B4D353E1486117A74F5A6132%7D (ver p. 25).

[27] I. Cyl-Tec. URL: https://cyl-tec.com/valves-the-overlooked-component-of-cylinder/ (ver p. 26).

[28] *Gas cylinders — Residual pressure valves — Specification and type testing of cylinder valves incorporating residual pressure devices*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, jul. de 2017 (ver pp. 26, 27, 32).

[29] R. H. Perry. *Perry's chemical engineers' handbook*. 7ª ed. The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 1997. ISBN: 0-07-115448-5 (ver pp. 27, 49–51, 53–55).

[30] *Gas cylinders — 17E and 25E taper threads for connection of valves to gas cylinders — Part 2: Inspection gauges*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, out. de 2017 (ver p. 27).

[31] *Gases and gas mixtures — Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, abr. de 2010 (ver p. 28).

[32] *Transportable gas cylinders — Inspection and maintenance of cylinder valves*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, 2006 (ver p. 28).

[33] *Gas cylinders — Valve protection caps and valve guards — Design, construction and tests*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, 2008 (ver pp. 28, 29).

[34] *Gas cylinders — Seamless steel and seamless aluminium-alloy gas cylinders and tubes — Periodic inspection and testing*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, 2018 (ver pp. 36–38).

[35] E. I. G. Association. *ALTERNATIVES TO HYDRAULIC TESTING OF GAS CYLINDERSDoc 96/17 Revision of Doc 96/11*. https://www.eiga.eu/publications/eiga-documents/. 2017 (ver p. 38).

[36] R. EARLE. "CHAPTER 7 - DRYING". Em: *Unit Operations in Food Processing (Second Edition)*. Ed. por R. EARLE. Second Edition. Amsterdam: Pergamon, 1983, pp. 85–104. ISBN: 978-0-08-025536-1. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-025536-1.50011-4. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080255361500114 (ver pp. 46, 48, 50, 55).

[37] J. I. Kroschwitz e A. Seidel. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. Vol. 2. Wiley-Blackwell, 2007 (ver pp. 47, 48, 56–61, 63).

[38] A. Salazar. "On thermal diffusivity". Em: *European Journal of Physics* 24 (mai. de 2003), p. 351. DOI: 10.1088/0143-0807/24/4/353 (ver pp. 49–53).

[39] M. Bahrami. "Forced convection heat transfer". Em: *Simon Fraser University* (2009) (ver pp. 51, 53–55).

[40] A. Benallou. *Energy Transfers by Conduction*. John Wiley & Sons, 2018. ISBN: 978-1-78630-275-5 (ver pp. 51, 130).

[41] J. M. P. Sala Lizarraga e A. Picallo-Perez. "4 - Exergy analysis of heat transfer in buildings". Em: *Exergy Analysis and Thermoeconomics of Buildings*. Ed. por J. M. P. Sala Lizarraga e A. Picallo-Perez. Butterworth-Heinemann, 2020, pp. 263–343. ISBN: 978-0-12-817611-5. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817611-5.00004-7. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128176115000047 (ver p. 53).

[42] M. Bahrami. "Natural Convection". Em: *Simon Fraser University* (2009) (ver p. 54).

[43] H. Tech. *Drying characteristic curve – Relation between a drying rate and moisture content*. URL: %7Bhttps://heater.heat-tech.biz/air-blow-heater/science-of-the-drying/basic-knowledge-of-the-drying/how-does-the-drying-progress/7710.html%7D (acedido em 14/12/2021) (ver p. 56).

[44] J. Crank. *The mathematics of diffusion*. Oxford university press, 1979 (ver p. 58).

[45] A. Alenezi. "Heat removal in high pressure turbine seal segments". Em: (2017) (ver pp. 61, 62).

[46] D. E. Alnak e K. Karabulut. "Analysis of heat and mass transfer of the different moist object geometries with air slot jet impinging for forced convection drying". Em: *Thermal Science* 22.6 Part B (2018), pp. 2943–2953 (ver p. 62).

[47] A. Mujumdar. "5 Impingement Drying". Em: *Handbook of Industrial Drying* (nov. de 2006). DOI: 10.1201/9781420017618.ch15 (ver p. 62).

[48] Y. Halouane, A. Mataoui e F. Iachachene. "Turbulent heat transfer for impinging jet flowing inside a cylindrical hot cavity". Em: *Thermal Science* 19.1 (2015), pp. 141–154 (ver pp. 62, 63).

[49] C. N. C. Perihan P. Kazim. "NUMERICAL INVESTIGATION OF TURBULENT SLOT JET IMPINGEMENT COOLING ON A SEMI-CIRCULAR CONCAVE SURFACE FOR DIFFERENT JET TO SURFACE RATIO". Em: () (ver p. 63).

[50] J. Torres. "Investigation of the Flow Field and Associated Heat Transfer within an Asymmetrical Leading Edge Jet Impingement Array". Em: (2019) (ver p. 63).

[51] S. P.S. "Some basic concepts on Adsorption techniques are discussed". Em: (jul. de 2014). DOI: 10.13140/2.1.3032.8966 (ver pp. 63–66, 68, 69).

[52] M. Leuenberger, M. Schibig e P. Nyfeler. "Gas adsorption and desorption effects on cylinders and their importance for long-term gas records". Em: *Atmospheric Measurement Techniques* 8 (dez. de 2015). DOI: 10.5194/amt-8-5289-2015 (ver pp. 64–69).

[53] C. Wyse et al. "Surface Analysis and Correlation to Moisture Generation from Cylinder Packages and Delivery Systems Used in High Purity HBr and other Halide Acid Gases for CMOS Device Manufacturing". Em: *ECS Meeting Abstracts*. 17. IOP Publishing. 2008, p. 1544 (ver pp. 70, 71).

[54] G. Wright. "Corrosion protection of metals". Em: *Chemical Processes in New Zealand* 2 (2006), 8J (ver pp. 71, 72, 74, 75).

[55] B. C. G. Association. *Guidance Note 6 - Avoidance and Detection of Internal Corrosion of Gas Cylinders: Revision 3, 2021*. https://bcga.co.uk/publications/. 2021 (ver pp. 71–74).

[56] E. I. G. Association. *CYLINDER RETEST STATIONS Doc 79/19 Revision of Doc 79/13*. https://www.eiga.eu/publications/eiga-documents/. 2019 (ver pp. 74, 76, 145, 190, 191).

[57] E. I. G. Association. *CLEANING OF EQUIPMENT FOR OXYGEN SERVICE Doc 33/18 Revision of Doc 33/06*. https://www.eiga.eu/publications/eiga-documents/. 2018 (ver pp. 76, 77).

[58] M. Morcillo. "Soluble salts: their effect on premature degradation of anticorrosive paints". Em: *Progress in Organic Coatings* 36.3 (1999), pp. 137–147. ISSN: 0300-9440. DOI: https://doi.org/10.1016/S0300-9440(99)00036-3. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944099000363 (ver pp. 77–79).

[59] E. Armelin et al. "Marine paint fomulations: Conducting polymers as anticorrosive additives". Em: *Progress in Organic Coatings* 59.1 (2007), pp. 46–52. ISSN: 0300-9440. DOI: https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2007.01.013. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944007000148 (ver pp. 80, 81, 191, 192).

[60] Z. Du et al. "The Review of Powder Coatings". Em: *Journal of Materials Science and Chemical Engineering* 04 (jan. de 2016), pp. 54–59. DOI: 10.4236/msce.2016.43007 (ver p. 81).

[61] D. H. Stamatis. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Quality Press, 2003. ISBN: 0-87389-598-3 (ver pp. 82, 85–89).

[62] *Risk management — Risk assessment techniques*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, out. de 2009 (ver pp. 82–85).

[63] *Risk management — Guidelines*. Standard. Genève, CH: International Organization for Standardization, fev. de 2018 (ver p. 83).

[64] P. Bhardwaj. "Types of sampling in research". Em: *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences* 5 (jan. de 2019), p. 157. DOI: 10.4103/jpcs.jpcs_62_19 (ver pp. 90, 91).

[65] T. Allen. *Introduction to engineering statistics and lean sigma. Statistical quality control and design of experiments and systems. 2nd ed*. Jan. de 2010. ISBN: 978-1-84882-999-2. DOI: 10.1007/978-1-84996-000-7 (ver p. 90).

[66] F. de Pol Mayer. *Introdução à Estatística e conceitos de amostragem*. 2016. URL: %7Bhttps://pt.scribd.com/document/392142204/01-Introducao-a-Estatistica-e-amostragem-pdf%7D (ver pp. 90–92).

[67] C. Morais. "Escalas de Medida, Estatística Descritiva e Inferência Estatística". Em: (jan. de 2005) (ver pp. 90–92).

[68] L. G. Gasca. *Elaboración Carta Psicrométrica Excel*. Jun. de 2020. URL: https://www.youtube.com/watch?v=hW1dq1j7ov4 (acedido em 10/08/2021) (ver p. 94).

[69] A. Materials. *Stainless Steel - Grade 316 (UNS S31600)*. https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=863. (Acedido em 15/12/2021) (ver p. 130).

[70] lojaluz. *Preço do kWh da EDP: Eletricidade, Gás, Termos Fixo e de Consumo*. https://lojaluz.com/fornecedores/edp/tarifas/preco-kwh. (Acedido em 15/12/2021) (ver p. 132).

[71] O. S. Inc. *Scuba tank thread inspection*. https://www.oasisscientific.com/store/c84/scuba-tank-thread-inspection-scopes. (Acedido em 01/12/2021) (ver p. 142).

[72] O. G. H. Olympus Corporate. *IPLEX G Lite (Industrial Videoscope)*. https://www.olympus-global.com. (Acedido em 10/12/2021) (ver p. 143).

[73] FLIR. *THERMAL IMAGING FOR MACHINE VISION AND INDUSTRIAL SAFETY APPLICATIONS*. https://docs.rs-online.com/fef5/0900766b814343ee.pdf. (Acedido em 14/12/2021) (ver p. 189).

[74] C. Corporation. *PSYCHROMETRIC CHART Normal Temperature I-P Units SEA LEVEL*. http://www.handsdownsoftware.com/CARRIER-Chart.PDF. (Acedido em 29/11/2021) (ver pp. 315, 316).

A

Apêndice 1 *Layout* e respetivo fluxograma do circuito de manutenção do *site* CMD

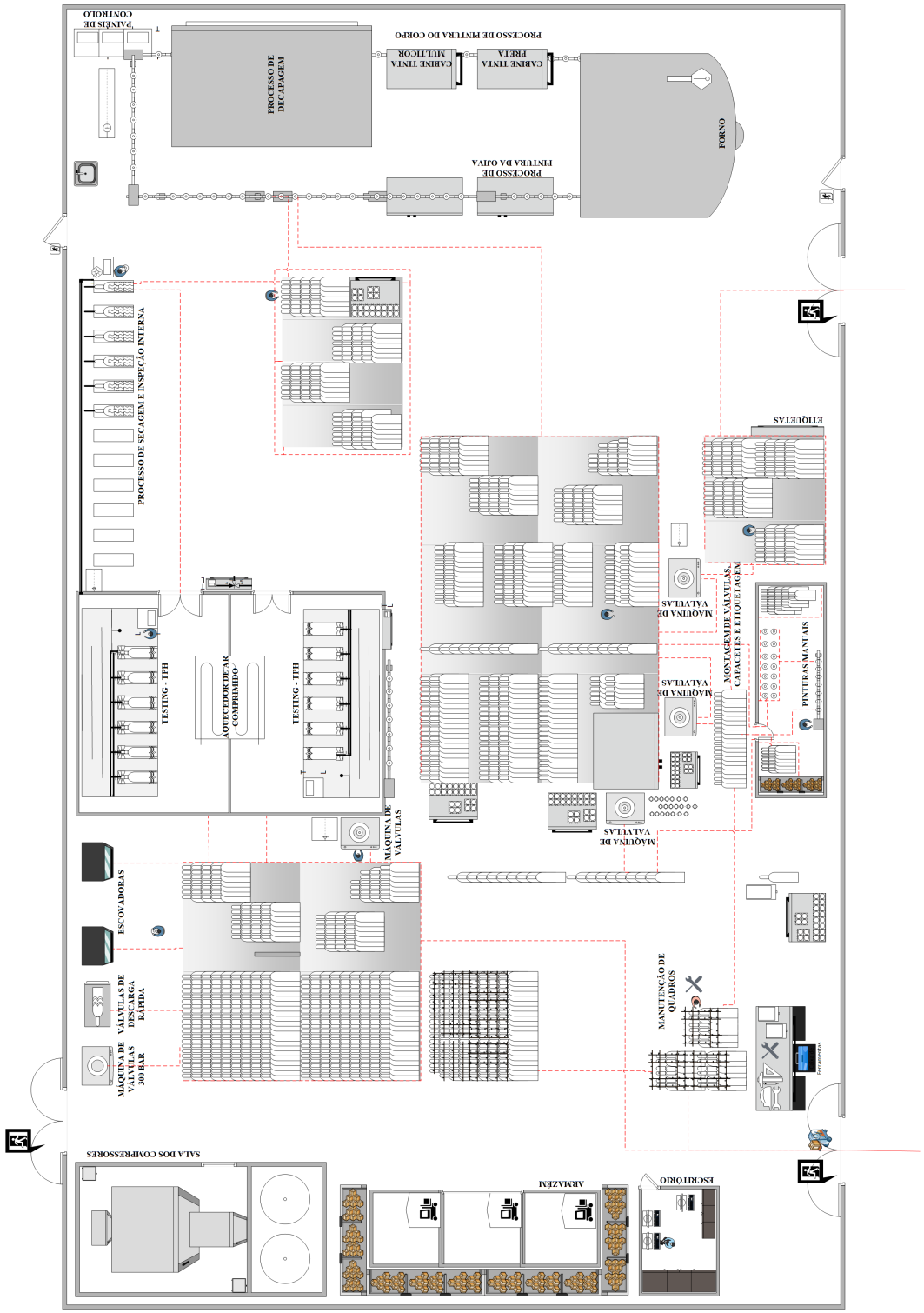
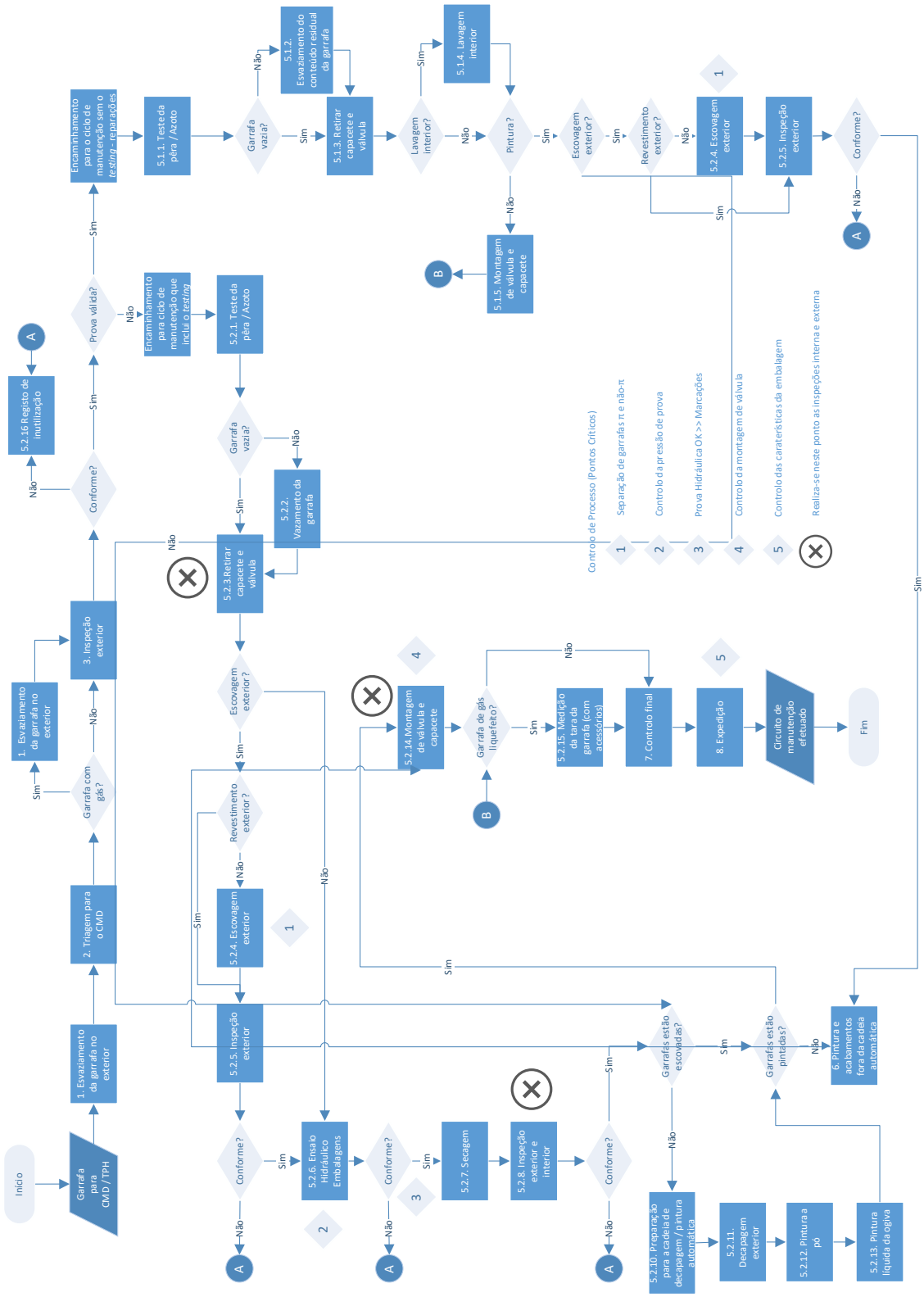


Figura A.1: Layout do *site* CMD (com recorrência à ferramenta *Microsoft Visio*).

Figura A.2: Fluxograma adotado no *site* CMD (com recorrência à ferramenta *Microsoft Visio*).



B

Apêndice 2 FMEAs e avaliações de risco

Tabela B.1: Procedimentos adotados no *site*.

SIGLAS	TPH:Teste Prova Hidráulica; AR:Arruda
Procedimento Técnico (ID)	Título
PT-TPH-AR-001	Elementos Importantes para segurança (EIS) no CMD/TPH Arruda dos Vinhos
PT-TPH-AR-002	Reprovação de Garrafa
PT-TPH-AR-003	Modelo de reprovação de garrafas de propriedade cliente
PT-TPH-AR-004	Declaração de conformidade Apragaz
PT-TPH-AR-005	Plano de Calibrações - CMD
PT-TPH-AR-006	Plano de Manutenção do CMD
PT-TPH-AR-007	Matriz de competencias no CMD
PT-TPH-AR-008	Índice de Documentos de trabalho do CMD
PT-TPH-AR-009	Relatório de Inspeção Periódica de Garrafas de Gases Comprimidos e Liquefeitos
PT-TPH-AR-011	Triagem para o CMD
PT-TPH-AR-012	Inspeção Exterior de Garrafas
PT-TPH-AR-013	Escovagem Exterior de Garrafas
PT-TPH-AR-014	Retirar Válvula
PT-TPH-AR-015	Inspeção Interior de Garrafas
PT-TPH-AR-016	Registo de Caraterísticas de Garrafas
PT-TPH-AR-017	Ensaio Hidráulico de Garrafas
PT-TPH-AR-018	Ensaio Hidráulico de Garrafas de Alta Pressão
PT-TPH-AR-020	Secagem das Garrafas
PT-TPH-AR-021	Aplicar Válvula
PT-TPH-AR-022	Marcação Tara em Garrafas de Gás Liquefeito
PT-TPH-AR-023	Pintura e acabamentos das garrafas que não fazem parte do circuito da cadeia de pintura
PT-TPH-AR-024	Controlo final de Garrafas e Quadros
PT-TPH-AR-025	Tratamento de Inutilizados
PT-TPH-AR-026	Mudança de Gás de serviço / Mutações
PT-TPH-AR-028	Regulação do Torque de Aperto
PT-TPH-AR-029	Tipo de Válvulas para Garrafas e Quadros
PT-TPH-AR-030	Esvaziamento de Garrafas e/ou Quadros
PT-TPH-AR-031	Cores Convencionais
PT-TPH-AR-032	Rejeição de Garrafas - Motivos
PT-TPH-AR-033	Pintura de garrafas na cadeia aérea automática
PT-TPH-AR-034	Garrafas "π" - Domínio
PT-TPH-AR-035	Teste de Fugas em Válvulas
PT-TPH-AR-036	Esvaziamento de Garrafas com válvula de descarga rápida
Procedimento Estrutural	Título
PE-TPH-AR-001	Descrição do processo de Conservação e Ensaio Hidráulico de Garrafas "π"
PE-TPH-AR-002	Descrição do processo de Conservação e Ensaio Hidráulico de Garrafas não "π"

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.2: FMEA (Parte 1/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	1.1.1	Contaminação existente no interior da garrafa que não é removida **(e.g. areias compostas por silicatos não interferem mas as terras e eventuais animais podem interferir, objetos, sujidade, corrosão ou similar)**	Garrafa com objeto ou sujidade potencia a contenção de humidade ou de água líquida e, pode, inclusive proporcionar a formação de corrosão, quando em contacto com certos gases (oxidantes ou corrosivos/tóxicos); Garrafa com corrosão agravada nas paredes interiores pode fragilizar o material e proporcionar a retenção de água líquida ou humidade, o que poderá impactar nas especificações do produto final.	**2**	Falha na identificação de defeito (i.e. RP não viu o defeito) e este acaba por não ser removido	**2**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento AL **PT-TPH-AR-015;** Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
	1.1.2			**2**	Inspeção mal executada por parte do RP, i.e. este não segue todos os passos do procedimento	**2**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento AL **PT-TPH-AR-015;** Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**12**
	1.1.3			**2**	A garrafa contém objeto, sujidade, corrosão ou similar no seu interior que não se consegue remover (e.g. vestígios de nylon usado na vedação da rosca da garrafa)	**4**	PT-TPH-AR-015; Caso a garrafa contenha um objeto invulgar que cause dúvidas quanto à segurança, a garrafa pode ser "recusada para continuar ao serviço, segregada e colocada em local assinalado para garrafas a inutilizar"; Garrafa é submetida em seguida ao *testing* onde é introduzida água que preencha todo o seu volume e depois de submetida à pressão de 300 bar, essa água iá ser retirada à pressão por meio de inversão da garrafa e introdução de ar.	**2**	**16**
	1.1.4			**2**	Falha por parte do cabo de fibra óptica (i.e. a luz deixa de funcionar ou começa a mostrar falhas)	**4**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho.	**2**	**16**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.3: FMEA (Parte 2/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Inspeção Interior da Garrafa antes desta seguir para o Teste de Pressão Hidráulica	**1.1.5**			**2**	Falta de rigor no cumprimento das técnicas de análise / inspeção (e.g. na inspeção o RP não consegue visualizar toda a superfície interna da garrafa i.e. na superfície interna do local da ogiva da garrafa, devido à ergonomia do instrumento de inspeção)	**5**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento **AL PT-TPH-AR-015;** Inclinar a garrafa de modo a obter diversos ângulos de vizialização; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**20**
	1.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Impurezas do ar migram para o interior da garrafa (sejam de origem orgânica, inorgânica, animal, material, etc; e.g. poeiras, animais voadores etc)	**2**	A inspeção efetua-se logo após a retirada da válvula, sendo que a garrafa se encontra mais protegida de fatores externos (semi compartimentada)	**2**	**8**
	1.2.2			**2**	Movimentação de RPs perto do local do processo acrescendo o potencial de contaminação	**4**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**2**	**16**
	1.2.3			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**2**	**8**
	1.2.4			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação (camara de escovagem de garrafas tem as borrachas de isolamento pouco eficazes)	**5**	Limpeza dos tanques de extração de poeiras de forma periódica Cabine de escovagem é parcialmente isolada com uma porta metálica e isolamento em borracha	**2**	**20**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.4: FMEA (Parte 3/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	1.2.5			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Zona parcialmente abrigada	**3**	**12**
	1.2.6			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa aquando da sua intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	1.2.7			**2**	Cabo de fibra ótica já contaminado	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
Transporte da garrafa desde o local de inspeção até perto da cabine de prova	**2.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação para gamas com especificação da humidade inferior a 10 ppm que ficam comprometidas após expor o seu interior	**2**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Minimizar o tempo de espera entre o processo de desmontagem da válvula e o *testing*	**3**	**18**
	2.1.2			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona com potenciamento de entrada de água (*testing*)	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**4**	**24**
	2.2.1			**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**4**	**24**
	2.2.2			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**8**
	2.2.3			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.5: FMEA (Parte 4/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	2.2.4	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	2.2.5			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa aquando da sua intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	2.2.6			**2**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	3.1.1	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação para gamas com especificação da humidade inferior a 10 ppm que ficam comprometidas após expor o seu interior	**2**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	3.1.2			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona com potenciamento de entrada de água (testing)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.6: FMEA (Parte 5/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Repouso da garrafa antes de entrar na cabine de prova	**3.2.1**	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Impurezas do ar migram para o interior da garrafa (sejam de origem orgânica, inorgânica, animal, material, etc; e.g. poeiras, animais voadores etc)	**1**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**8**
	3.2.2			**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**4**	**24**
	3.2.3			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**8**
	3.2.4			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	3.2.5			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	3.2.6			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	3.2.7	Exposição do interior da garrafa que já conteve determinado gás à atmosfera envolvente	A corrosão é potenciada e pode haver um impacto muito agravado no estado interno da garrafa	**2**	Trabalho inacabado; a própria preparação de um ciclo completo ficar inacabada	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**1**	**4**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.7: FMEA (Parte 6/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Transporte da garrafa até à cabine de testing	**4.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação para gamas com especificação da humidade inferior a 10 ppm que ficam comprometidas após expor o seu interior	**2**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Minimizar o tempo de espera entre o processo de desmontagem da válvula e o *testing*	**3**	**18**
	4.1.2			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona com potenciamento de entrada de água (*testing*)	**2**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**12**
	4.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**4**	**24**
	4.2.2			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**8**
	4.2.3			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	4.2.4			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	4.2.5			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa aquando da sua intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.8: FMEA (Parte 7/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	4.2.6			**2**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	5.1.1	Aparelhos desconfigurados / mau funcionamento	Problemas de corrente elétrica (e.g. micro ou macrofalhas têm impacto nos aparelhos que estão a ser alimentados á corrente elétrica). As placas eletrónicas podem, a médio-longo prazo, ser danificadas severamente Maior tempo de contacto entre a água e o material, com possível contacto com o gás/líquido que a garrafa continha a condições P e T ambientes; Pode levar à fornação de corrosão por ácido, por oxidação ou por stress (BCGA AVOIDANCE AND DETECTION OF INTERNAL CORROSION OF GAS CYLINDERS)	**5**	Falta de eletricidade quando as garrafas já se encontram com água no interior	**1**	Seguimento do procedimento de verificação da conformidade dos equipamentos e revisões regulares	**1**	**5**
	5.1.2			**5**	Falha na instrumentação necessária (e.g. bomba estragada ou resistência do aquecedor estragada ou fuga na canalização)	**1**	Seguimento do procedimento de verificação da conformidade dos equipamentos e revisões regulares	**1**	**5**
	5.1.3			**5**	Falha por parte de mecanismo acoplado (e.g. água que é introduzida ou pressão a que a garrafa é sujeita)	**1**	Seguimento do procedimento de verificação da conformidade dos equipamentos e revisões regulares	**1**	**5**
	5.1.4			**5**	Válvulas ON/OFF desreguladas	**1**	Seguimento do procedimento de verificação da conformidade dos equipamentos e revisões regulares	**1**	**5**
	5.1.5			**5**	Problema no sistema que inverte e vaza a água das garrafas	**1**	Seguimento do procedimento de verificação da conformidade dos equipamentos e revisões regulares	**1**	**5**
	5.2.1	Contaminação existente no interior	Garrafa com objeto ou sujidade poderá ajudar a conter humidade ou moléculas de água e	**2**	Inspeção interior que antecede o *testing* foi mal executada	**3**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento AL **PT-TPH-AR-015;** Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**12**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.9: FMEA (Parte 8/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Testing : Teste de Pressão Hidráulico para testar se a garrafa tem consições para continuar ao serviço	**5.2.2**	da garrafa que não é removida (e.g. areias compostas por silicatos não interferem mas as terras e eventuais animais podem interferir, objetos, sujidade, corrosão ou similar)	inclusive formar corrosão em contacto com certos gases (oxidantes ou corrosivos/tóxicos); Garrafa com corrosão nas paredes interiores pode fragilizar o material e inclusive ajudar na retenção de moléculas de água que poderá impactar nas especificações do produto final.	**2**	Longevidade da garrafa (garrafa antiga e desgastada)	**3**	Considerar a data de conceção da garrafa e se esta estiver muito danificada e surjam duvidas quanto à sua passagem no *testing;* Garrafas com material fragilizado de forma agravada, podem chumbar no *testing*	**2**	**12**
	5.2.3			**2**	Água da rede usada no *testing* com partículas prejudiciais e que proporcionam a corrosão (e.g. cloretos, terras, etc)	**2**	Água da rede que é adicionada ao processo é fresca e não é renovada e são efetuadas análises à mesma para garantir que cumpre as normas alimentares	**4**	**16**
	5.3.1	Garrafa com água adsorvida nas paredes interiores (filme)	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Corrosão agravada nas paredes internas da garrafa, devido à sua longevidade ou a outros fatores	**2**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento AL PT-TPH-AR-015; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**16**
	5.3.2			**2**	Submissão da garrafa a uma pressão elevada quando esta é testada (300 bar)	**3**	Seguimento do procedimento Seguimento do procedimento **PT-TPH-AR-018**	**2**	**12**
	5.3.3			**5**	Tempo insuficiente no esvaziamento da garrafas por inversão das mesmas	**2**	Seguimento do procedimento Seguimento do procedimento **PT-TPH-AR-018;** Introdução de ar no interior; Inversão de grau ~180º	**2**	**20**
	5.4.1	Fragilização do material constituinte sem visível abertura de microfissuras	Garrafa fragilizada pode levar a rupturas e consequente problema no produto final	**2**	Submissão da garrafa a uma pressão elevada (300 bar)	**2**	Seguimento do procedimento Seguimento do procedimento **PT-TPH-AR-018**	**2**	**8**
	5.5.1	Água introduzida na	Apesar desta água ser vazada da garrafa, podem haver alguma partícula impura retida no interuor da garrafa (e.g. terra), o	**2**	Falta de filtração da água em relação a contaminantes sólidos como metais	**3**	Água da rede que é adicionada ao processo é fresca e não é renovada e são efetuadas análises à mesma para garantir que cumpre as normas alimentares	**2**	**12**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.10: FMEA (Parte 9/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	5.5.2	garrafa com impurezas	que pode trazer problemas para as especificações em impurezas do produto final	**2**	Falta de filtração da água em relação a contaminantes moléculares como o cloro e o cloreto	**3**	Água da rede que é adicionada ao processo é fresca e não é renovada e são efetuadas análises à mesma para garantir que cumpre as normas alimentares	**2**	**12**
Gravação da Garrafa com a data de prova (ponto 5.1 BCGA AVOIDANCE AND DETECTION OF INTERNAL CORROSION OF GAS CYLINDERS)	**6.1.1**	Fragilização do material constituinte com possível diminuição da espessura da parede da garrafa de gás	Garrafa fragilizada pode levar a rupturas e consequente problema no produto final	**2**	Material fragilizado nalgum local onde seja feita a gravação de prova com o martelo pneumático	**1**	Ponteiro de marcação grava com espessura pouco significativa face à espessura da parede da garrafa	**2**	**4**
	6.1.2			**2**	Tempo de exposição do material constituinte da garrafa à água da rede	**5**	Minimizar o tempo de marcação das garrafas ao executá-lo logo após o testing; Água da rede que é adicionada ao processo é fresca e não é renovada e são efetuadas análises à mesma para garantir que cumpre as normas alimentares	**2**	**20**
	6.3.1	Água introduzida na garrafa com impurezas	Apesar desta água ser vazada da garrafa, podem haver alguma partícula impura retida no interuor da garrafa (e.g. terra), o que pode trazer problemas para as especificações em impurezas do produto final	**2**	Falta de filtração da água em relação a contaminantes sólidos como metais	**3**	Água da rede que é adicionada ao processo é fresca e não é renovada e são efetuadas análises à mesma para garantir que cumpre as normas alimentares	**2**	**12**
	6.3.2			**2**	Falta de filtração da água em relação a contaminantes moléculares como o cloro e o cloreto	**3**	Água da rede que é adicionada ao processo é fresca e não é renovada e são efetuadas análises à mesma para garantir que cumpre as normas alimentares	**2**	**12**
	7.1.1	Exposição da garrafa	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e ainda a possível contaminação do interior da garrafa com	**3**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à água) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**4**	Encaminhamento para processo de secagem	**2**	**24**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.11: FMEA (Parte 10/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	**7.1.2**	ao ar atmosferico mais frio	impurezas do ar e possibilidade de oxidação devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	4	Evaporação da água quente proveniente do testing (introduzida entre 30 e 35ºC) cria gotículas de água na parte superior e interior da garrafa (ogiva)	**3**	Procedimento adotado inclui a colocação de tampas nas garrafas	**2**	**24**
	7.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**18**
	7.2.2			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**4**
	7.2.3			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**12**
	7.2.4			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**12**
	7.2.5			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa aquando da sua intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	7.2.6			**2**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.12: FMEA (Parte 11/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Repouso da garrafa antes de entrar no processo de secagem	**8.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e ainda a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar e possibilidade de oxidação devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	**3**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à água) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**4**	Encaminhamento para processo de secagem Procedimento adotado inclui a colocação de tampas nas garrafas	**2**	**24**
	8.1.2			**4**	Evaporação da água quente proveniente do testing (introduzida entre 30 e 35ºC) cria gotículas de água na parte superior e interior da garrafa (ogiva)	**3**		**2**	**24**
	8.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Impurezas do ar migram para o interior da garrafa (sejam de origem orgânica, inorgânica, animal, material, etc; e.g. poeiras, animais voadores etc)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	8.2.2			**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**18**
	8.2.3			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**4**
	8.2.4			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**
	8.2.5			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**12**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.13: FMEA (Parte 12/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	8.2.6			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	4	**24**
	8.3.1	Armazenamento de água de um dia para outro no interior da garrafa	A corrosão é potenciada e pode haver um impacto muito agravado no estado interno da garrafa	**2**	Trabalho inacabado; a própria preparação de um ciclo completo ficar inacabada	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**1**	**4**
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	**9.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio		**3**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à água) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	4	Encaminhamento para processo de secagem Procedimento adotado inclui a colocação de tampas nas garrafas	**2**	**24**
	9.1.2			4	Evaporação da água quente proveniente do testing (introduzida entre 30 e 35ºC) cria gotículas de água na parte superior e interior da garrafa (ogiva)	**3**		**2**	**24**
	9.2.1			**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**18**
	9.2.2			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**4**
	9.2.3			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**12**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.14: FMEA (Parte 13/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	9.2.4	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**12**
	9.2.5			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa aquando da sua intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	9.2.6			**2**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	10.1.1	Corrente de ar comprimido com baixo caudal	A garrafa não é bem seca ou atraso no processo	**5**	Correntes de ar convectivas não potenciam uma boa transferência de massa	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**20**
	10.1.2		Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**5**	Problemas com o compressor	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20;'Manutenções regulares ao compressor de modo a mantê-lo em condições ótimas de funcionamento	**1**	**5**
	10.1.3		A garrafa não é bem seca ou atraso no processo	**5**	Supressão devido a suprimento na tubagem - problema com uma das mangueiras de secagem	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**20**
	10.1.4		Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**5**	Tamanho da vareta (há varetas com comprimentos maiores e outras com menores)	**5**	Sem controlo	**3**	**75**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.15: FMEA (Parte 14/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	10.1.5		A garrafa não é bem seca ou atraso no processo	5	Posicionamento demasiadamente centralizado/de lado da vareta faz com que a saída da mesma seja ligeiramente obstruída (principalmente nas de menor capacidade)	4	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; O operador apercebe-se e tenta posicionar a vareta	3	60
	10.1.6		A garrafa não é bem seca ou atraso no processo	5	Posicionamento demasiadamente centralizado da vareta faz não potencia a transferencia de massa nas partes mais fundas da garrafa (convexa)	4	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; O operador apercebe-se e tenta posicionar a vareta	3	60
	10.2.1	Corrente de ar comprimido com temperatura não conforme	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	5	Funcionamento irregular da resistência do aquecedor	1	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	1	5
	10.2.2			5	Controlador mal calibrado	1	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	1	5
	10.2.3			5	Problemas com o termómetro (sonda) à saída do aquecedor	1	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	1	5
	10.2.4			5	Rompimento da tubagem de fornecimento de ar que leva a perdas de temperatura	1	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	1	5
	10.2.5			5	Tubagem e mangueiras não isoladas termicamente que faz com que o calor se dissipe mais facilmente	5	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	3	75
	10.2.6			4	Tubagem metálica e mangueiras e conectores com falta de manutenção (e.g. não indicadas/fora de prazo)	5	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	3	60

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.16: FMEA (Parte 15/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	**10.3.1**	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e humidades; produto fora dos limites de especificação	4	Rompimento da tubagem permite a entrada de impurezas na corrente de fornecimento de ar quente comprimido (H2O, etc)	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	**2**	**8**
	10.3.2			4	Extração de ar com percetagem elevada de impurezas (H2O, etc)	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Cabine de ar comprimido é isolada	**3**	**12**
	10.3.3			**2**	Restos de produto (gás) nas paredes interiores da embalagem (H2O, etc)	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Podem-se conseguir tirar alguns no vazamento de água efetuado depois do teste hidráulico, onde a garrafa é invertida	**3**	**18**
	10.3.4			**2**	Filtros de retenção de impurezas do ar comprimido com falta de	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	**2**	**4**
	10.3.5			**2**	Tanque de retenção de água com falta de manutenção	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	**2**	**4**
	10.3.6			**2**	Tanque de armazenamento de ar comprimido com condensação de água e impurezas retidas no fundo	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	**2**	**4**
	10.3.7			**2**	Tubagem do aquecedor com impurezas (H2O, corrosão, etc)	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20;Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**12**
	10.3.8			**2**	Secagem que ocorre com a garrafa aberta está exposta à entrada de impurezas(H2O, etc) e fatores adversos	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20;Pouco provável que ocorra a entrada de impurezas com a pressão criada no interior da garrafa	**3**	**6**
	10.3.9			**3**	Parte do material da garrafa que se desprende devido a corrosão	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Pressão do ar efetado é moderada, cerca de 5/6 bar	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.17: FMEA (Parte 16/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	10.3.10			**2**	Vareta introduzida na garrafa tem impurezas	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**8**
	10.4.1	Tempo de secagem não adequado	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**3**	Falta de conhecimento do processo de secagem	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**12**
	10.5.1	Temperatura não adequada	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Falta de conhecimento do processo de secagem	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**16**
	10.6.1	Garrafa seca a nível visual mas fora da especificação mínima exigida	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**5**	Falta de conhecimento do processo de secagem	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**20**
	10.6.2			**5**	Tempo de secagem insuficiente	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**60**
	10.6.3			**5**	Temperatura insuficiente	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**60**
	10.6.4			**5**	Caudal de ar insuficiente	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**60**
	10.6.5			**5**	Ar comprimido com humidade	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**20**
	10.7.1	Falha na inspeção anterior à prova	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**5**	Avaria na luz de fibra ótica	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Manutenção periódica	**2**	**10**
	10.7.2			**4**	Pressuposto de que não existe corrosão na parte superior da garrafa	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**32**
	10.7.3			**2**	Falha por parte do RP	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-20; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**16**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.18: FMEA (Parte 17/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	11.1.1	Contaminação existente no interior da garrafa que não é removida **(e.g. areias compostas por silicatos não interferem mas as terras e eventuais animais podem interferir, objetos, sujidade, corrosão ou similar)**	Garrafa com objeto ou sujidade potencia a contenção de humidade ou de água líquida e, pode, inclusive proporcionar a formação de corrosão, quando em contacto com certos gases (oxidantes ou corrosivos/tóxicos); Garrafa com corrosão agravada nas paredes interiores pode fragilizar o material e proporcionar a retenção de água líquida ou humidade, o que poderá impactar nas especificações do produto final.	**3**	Falha na identificação de defeito (i.e. RP não viu o defeito) e este acaba por não ser removido	**2**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento AL **PT-TPH-AR-015;** Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**12**
	11.1.2			**5**	Inspeção mal executada por parte do RP, i.e. este não segue todos os passos do procedimento	**2**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento AL **PT-TPH-AR-015;** Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**20**
	11.1.3			**2**	A garrafa contém objeto, sujidade, corrosão ou similar no seu interior que não se consegue remover (e.g. vestígios de nylon usado na vedação da rosca da garrafa)	**4**	PT-TPH-AR-015; Caso a garrafa contenha um objeto invulgar que cause dúvidas quanto à segurança, a garrafa pode ser "recusada para continuar ao serviço, segregada e colocada em local assinalado para garrafas a inutilizar"; Garrafa é submetida em seguida ao *testing* onde é introduzida água que preencha todo o seu volume e depois de submetida à pressão de 300 bar, essa água iá ser retirada à pressão por meio de inversão da garrafa e introdução de ar.	**3**	**24**
	11.1.4			**5**	Falha por parte do cabo de fibra óptica (i.e. a luz deixa de funcionar ou começa a mostrar falhas)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**20**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.19: FMEA (Parte 18/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Inspeção Interior da Garrafa após o processo de secagem	**11.1.5**			**2**	Falta de rigor no cumprimento das técnicas de análise / inspeção (e.g. na inspeção o RP não consegue visualizar toda a superfície interna da garrafa i.e. na superfície interna do local da ogiva da garrafa, devido à ergonomia do instrumento de inspeção)	**3**	Verificar os defeitos nas garrafas corretamente de acordo com o procedimento **AL PT-TPH-AR-015;** Inclinar a garrafa de modo a obter diversos ângulos de vizialização; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**12**
	11.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Impurezas do ar migram para o interior da garrafa (sejam de origem orgânica, inorgânica, animal, material, etc; e.g. poeiras, animais voadores etc)	**2**	A inspeção efetua-se logo após a retirada da válvula, sendo que a garrafa se encontra mais protegida de fatores externos (semi compartimentada)	**2**	**8**
	11.2.2			**2**	Movimentação de RPs perto do local do processo acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**2**	**8**
	11.2.3			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**12**
	11.2.4			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**4**	Zona parcialmente abrigada	**3**	**24**
	11.2.5			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**4**	Zona parcialmente abrigada	**3**	**24**
	11.2.6			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa aquando da sua intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.20: FMEA (Parte 19/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	11.2.7			**2**	Cabo de fibra ótica já contaminado	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	4	**24**
Transporte da garrafa desde o local de secagem até perto da cadeia aérea automática	**12.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e ainda a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	4	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à secagem) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**3**	Algumas garrafas são tapadas logo após a secagem, através de um processo de encaixe com roca (moroso); Encaminhamento para a cadeia automática aérea	**3**	**36**
	12.1.2			**3**	Evaporação da água quente proveniente do testing (introduzida entre 30 e 35ºC) cria gotículas de água na parte superior e interior da garrafa (ogiva)	**2**		4	**24**
	12.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação; Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**18**
	12.2.2			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	12.2.3			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	12.2.4			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.21: FMEA (Parte 20/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	12.2.5	voadores)		**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**24**
	12.2.6			**3**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	13.1.1	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Algumas garrafas são tapadas logo após a secagem Encaminhamento para a cadeia automática aérea	**3**	**36**
	13.1.2			**3**	Trabalhos a ocorrer na zona com potenciamento de entrada de água (testing, secagem e cascata de água)	**3**		**2**	**18**
	13.2.1			**2**	Impurezas do ar migram para o interior da garrafa (sejam de origem orgânica, inorgânica, animal, material, etc; e.g. poeiras, animais voadores etc)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**16**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.22: FMEA (Parte 21/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Repouso da garrafa antes de entrar na cadeia aérea automática	**13.2.2**	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**4**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação; Redução de RP's intervenientes neste processo	**2**	**16**
	13.2.3			**2**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	13.2.4			**2**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**12**
	13.2.5			**2**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	13.2.6			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**24**
	13.3.1	Armazenamento de água de um dia para outro no interior da garrafa	A corrosão é potenciada e pode haver um impacto muito agravado no estado interno da garrafa	**5**	Trabalho inacabado; a própria preparação de um ciclo completo ficar inacabada	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**20**
Colocação do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia	**14.1.1**	Exposição ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**3**	Garrafa herméticamente fechada pode propiciar condensações	**1**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**2**	**6**
	14.2.1			**2**	Peça de transporte com impurezas	**4**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**24**
	14.2.2			**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.23: FMEA (Parte 22/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
aérea automática	**14.2.3**	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Colocação da garrafa na cadeia aérea automática	**15.1.1**	Queda da garrafa	Garrafa não segue (ou é logo reposta de novo na linha ou então espera) e pode ser não visivelmente danificada (e.g. no interior solta-se um pouco de material constituinte); Ocorre contaminação do interior da garrafa	**2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte por parte do RP	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**2**
	15.1.2			**2**	RP deixa cair por falta de força	**1**	O operador tenta agir de modo a voltar a colocar a garrafa na cadeia	**1**	**2**
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à granalhadora	**16.1.1**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	16.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	**17.1.1**	Queda da garrafa	Garrafa não segue (ou é logo reposta de novo na linha ou então espera) e pode ser não visivelmente danificada (e.g. no interior solta-se um pouco de material constituinte) ; Ocorre contaminação do interior da garrafa	**2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**4**
	17.2.1	Pingo de solda não identificado permanece na garrafa (laterais, fundo e ogiva)	Poderá ser um ponto de fragilização do material e levar à iniciação de corrosão naquele ponto (ref)	**2**	Não foi identificado anteriormente pois não era visível a olho nu	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Por vezes, o operador consegue identificar esta situação quando está a retirar a garrafa da cadeia aérea, ou eté na montagem de válvula	**2**	**8**
	18.1.1			**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.24: FMEA (Parte 23/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à pintura do corpo	**18.1.2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Pintura do corpo da garrafa	**19.1.1**	Contaminação do estado interior da garrafa	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	19.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	**20.1.1**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	20.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Processo de cura de tinta no forno	**21.1.1**	Expansão do volume da garrafa	Dilatação da rosca o que pode potenciar a entrada de contaminantes ou humidade (isto traz 2 problemas: a permissão de maior entrada de partículas na massa constituinte da garrafa devido à abertura dos poros e da entrada de impurezas na garrafa através da rosca)	**2**	Temperatura	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Caso o volume expandisse de forma gravosa, a rosca da garrafa desapertava num local de rotação da mesma na cadeia aérea a mesma cairia	**2**	**4**
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	**22.1.1**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	22.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
	23.1.1	Entrada de ar atmosférico no interior da garrafa		**3**	Folga na rosca e vento	**2**	Borracha colocada sobre o mecanismo de transporte que deve de proteger a garrafa	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.25: FMEA (Parte 24/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	**23.2.1**	Entrada de água proveniente da cascata do processo de pintura de ogiva	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Folga na rosca e vento	**2**	Borracha colocada sobre o mecanismo de transporte que deve de proteger a garrafa	**3**	**24**
	23.3.1	Possível condensação nas paredes		**3**	Garrafa herméticamente fechada e possíveis condensações de água proveniente do processo de secagem	**2**	Inspeção visual interna bem efetuada	**2**	**12**
	23.4.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**4**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**16**
	23.4.2			**4**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**16**
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde o forno até à pintura de ogiva	**24.1.1**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	24.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Pintura da ogiva da garrafa	**25.1.1**	Queda da garrafa	Garrafa não segue (ou é logo reposta de novo reposta na linha ou então espera) e pode ser não visivelmente danificada (e.g. no interior solta-se um pouco de material constituinte); Ocorre contaminação do interior da garrafa	**2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**2**
	25.2.1	Entrada de ar atmosférico no interior da garrafa	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	25.3.1	Entrada de água proveniente da cascata do processo de pintura de ogiva		**2**	Falha por parte do RP	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.26: FMEA (Parte 25/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	25.4.1	Possível condensação nas paredes		**3**	Garrafa herméticamente fechada e possíveis condensações de água proveniente do processo de secagem	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033;Inspeção visual interna bem efetuada	**3**	**18**
	25.5.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Sistema adaptado à rosca	**3**	**12**
	25.5.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-033; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios de granalha	**26.1.1**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	26.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**
	26.2.1	Queda da garrafa	Garrafa não segue (ou é logo reposta de novo reposta na linha ou então espera) e pode ser não visivelmente danificada (e.g. no interior solta-se um pouco de material constituinte); Ocorre contaminação do interior da garrafa	**2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**2**
	27.1.1	A granalha não é	Gola com muitas partículas de granalha que podem entrar no interior da garrafa e contaminar a	**2**	Combinação entre granalha inserida na superfície da gola e utensílio de plástico utilizado para a proteger	**4**	Soprador para remover a granalha que fica à superfície da gola; RP retira o utensílio de plástico utilizado para proteger a superfície da gola da garrafa	**3**	**24**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.27: FMEA (Parte 26/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Remoção de vestígios de granalha com soprador	**27.1.2**	removida na totalidade	mesma antes de ser colocada a válvula e o produto fica fora da especificação	**3**	Combinação entre granalha inserida na superfície da gola e tinta aplicada na parte da ogiva	**4**	Soprador para remover a granalha que fica à superfície da gola	**2**	**24**
	27.2.1	Inserção de partículas na superfície gola	Gola com muitas partículas de granalha que podem entrar no interior da garrafa e contaminar a mesma antes de ser colocada a válvula e o produto fica fora da especificação	**2**	Combinação entre granalha inserida na superfície da gola e utensílio de plástico utilizado para a proteger e o soprador que acaba por colocar partículas de granalha alojadas entre as roscas	**4**	Soprador para remover a granalha que fica à superfície da gola; RP retira o utensílio de plástico utilizado para proteger a superfície da gola da garrafa	**3**	**24**
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios de granalha	**27.1.1**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**2**	Folga na rosca	**2**	Sistema adaptado à rosca	**2**	**8**
	27.1.2			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**4**
	27.2.1	Queda da garrafa	Garrafa não segue (ou é logo reposta de novo reposta na linha ou então espera) e pode ser não visivelmente danificada (e.g. no interior solta-se um pouco de material constituinte) Ocorre contaminação do interior da garrafa	**2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**2**
Remoção da garrafa da cadeia aérea	**28.1.1**	Queda da garrafa	Garrafa não segue (ou é logo reposta de novo reposta na linha ou então espera) e pode ser não visivelmente danificada	**2**	Incorreto enroscamento do mecanismo de transporte	**1**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**1**	**2**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.28: FMEA (Parte 27/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
automática	**28.1.2**		(e.g. no interior solta-se um pouco de material constituinte); Ocorre contaminação do interior da garrafa	**2**	RP deixa cair por falta de força	**1**	O operador tenta agir de modo a voltar a colocar a garrafa na cadeia	**1**	**2**
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até perto do local de colocação da válvula	**29.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e ainda a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	**4**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à água) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**3**	Sem controlo	**3**	**36**
	29.1.2			**3**	Evaporação da água quente proveniente do testing (introduzida entre 30 e 35ºC) cria gotículas de água na parte superior e interior da garrafa (ogiva)	**2**	Sem controlo	**4**	**24**
	29.2.1	Contaminação do		**3**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação; Redução de RP's intervenientes neste processo	**3**	**18**
	29.2.2			**3**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	29.2.3			**3**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.29: FMEA (Parte 28/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	29.2.4	[illegible] estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**3**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	29.2.5			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**24**
	29.2.6			**3**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	30.1.1	Exposição da garrafa ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Combinação entre: Garrafa aberta; não isolada ou selada; Oscilações na temperatura e humidade do ar. Impacto verificado pelo Weather Study	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**36**
	30.1.2			**3**	Trabalhos a ocorrer na zona com potenciamento de entrada de água (testing)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.30: FMEA (Parte 29/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Repouso da garrafa antes de colocar a válvula	**30.2.1**	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**3**	Impurezas do ar migram para o interior da garrafa (sejam de origem orgânica, inorgânica, animal, material, etc; e.g. poeiras, animais voadores etc)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
	30.2.2			**3**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**4**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação; Redução de RP's intervenientes neste processo	**2**	**24**
	30.2.3			**3**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	30.2.4			**3**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**18**
	30.2.5			**3**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	30.2.6			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**4**	**24**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.31: FMEA (Parte 30/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Transporte da garrafa até ao local de colocação da válvula	**31.1.1**	Exposição da garrafa ao ar atmosférico mais frio	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação e ainda a possível contaminação do interior da garrafa com impurezas do ar devido aos ciclos de renovação serem mais frequentes	4	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à água) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**3**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**36**
	31.1.2			**3**	Evaporação da água quente proveniente do testing (introduzida entre 30 e 35ºC) cria gotículas de água na parte superior e interior da garrafa (ogiva)	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	4	**24**
	31.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**3**	Movimentação de RPs acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	31.2.2			**3**	Movimentação de materiais ou cargas perto do local do procedimento acrescendo o potencial de contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	31.2.3			**3**	Trabalhos a ocorrer na zona, o que potencia a contaminação	**2**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**3**	**18**
	31.2.4			**3**	Correntes de ar convectivas que são criadas junto à zona de intervenção	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	31.2.5			**2**	RP com EPI contaminado (e.g luvas) acaba por contaminar o bocal da garrafa	**3**	Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	4	**24**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.32: FMEA (Parte 31/31).

Problema a averiguar: humidade no interior da garrafa de aço. Tem início aquando da retirada da válvula e fim aquando do término do processo de enchimento.									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	31.2.6			**3**	Rolamento da garrafa pode fazer com que os turbilhõesde ar/correntes sejam potenciadores da renovação do ar no interior da garrafa e o ar com impurezas junto ao solo migra para o interior da garrafa	**2**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**4**	**24**
Montagem de válvula	**32.1.1**	Exposição ao ar atmosférico com possível renovação do ar e condensação nas paredes	Garrafa com humidade e produto fora dos limites de especificação	**4**	Gradiente de temperaturas entre o interior da garrafa (quente devido à água) e o exterior leva a ciclos de renovação de ar	**2**	Seguimento do procedimento **PT-TPH-AR-021;** Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**24**
	32.2.1	Contaminação do estado interior da garrafa ocorrida no momento da inspeção (e.g. terras ou animais voadores)	Garrafa com impurezas e produto fora dos limites de especificação	**3**	Válvula com impurezas	**2**	Seguimento do procedimento **PT-TPH-AR-021;** Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**3**	**18**
	32.2.2			**2**	Folga entre a rosca da garrafa e a rosca da válvula	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Binário de aperto executado por uma máquina calibrada	**1**	**2**
	32.2.3			**2**	Falha por parte do RP	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho; Ações de formação ou sensibilização e reuniões periódicas de 3 em 3 anos aos RPs com a nota de que para melhorias, existe nova qualificação	**2**	**8**

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.33: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 1/5).

	Etapas	Parâmetro		Resultado
	Risk ID	S	O	Risco associado
Inspeção Interior da Garrafa antes desta seguir para o Teste de Pressão Hidráulica	1.1.1	2	2	4
	1.1.2	2	2	4
	1.1.3	2	4	8
	1.1.4	2	4	8
	1.1.5	2	5	10
	1.2.1	2	2	4
	1.2.2	2	4	8
	1.2.3	2	2	4
	1.2.4	2	5	10
	1.2.5	2	2	4
	1.2.6	2	3	6
	1.2.7	2	3	6
Transporte da garrafa desde o local de inspeção até perto da cabine te prova	2.1.1	2	3	6
	2.1.2	2	3	6
	2.2.1	2	3	6
	2.2.2	2	1	2
	2.2.3	2	3	6
	2.2.4	2	2	4
	2.2.5	2	3	6
	2.2.6	2	3	6
Repouso da garrafa antes de entrar na cabine de prova	3.1.1	2	3	6
	3.1.2	2	2	4
	3.2.1	2	1	2
	3.2.2	2	3	6
	3.2.3	2	1	2
	3.2.4	2	2	4
	3.2.5	2	2	4
	3.2.6	2	3	6
	3.2.7	2	2	4
Transporte da garrafa até à cabine de testing	4.1.1	2	3	6
	4.1.2	2	2	4
	4.2.1	2	3	6
	4.2.2	2	1	2
	4.2.3	2	2	4
	4.2.4	2	2	4
	4.2.5	2	3	6
	4.2.6	2	3	6
Testing : Teste de Pressão Hidráulico para testar se a garrafa tem consições para continuar ao serviço	5.1.1	5	1	5
	5.1.2	5	1	5
	5.1.3	5	1	5
	5.1.4	5	1	5
	5.1.5	5	1	5
	5.2.1	2	3	6
	5.2.2	2	3	6
	5.2.3	2	2	4
	5.3.1	4	2	8
	5.3.2	2	3	6

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.34: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 2/5).

	Etapas	Parâmetro		Resultado
	Risk ID	S	O	Risco associado
	5.3.3	5	2	10
	5.4.1	2	2	4
	5.5.1	2	3	6
	5.5.2	2	3	6
Marcação da Garrafa com a data de prova (ponto 5.1 BCGA AVOIDANCE AND DETECTION OF INTERNAL CORROSION OF GAS CYLINDERS)	6.1.1	2	1	2
	6.1.2	2	5	10
	6.3.1	2	3	6
	6.3.2	2	3	6
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	7.1.1	3	4	12
	7.1.2	4	3	12
	7.2.1	2	3	6
	7.2.2	2	2	4
	7.2.3	2	2	4
	7.2.4	2	2	4
	7.2.5	2	3	6
	7.2.6	2	3	6
Repouso da garrafa antes de entrar no processo de secagem	8.1.1	3	4	12
	8.1.2	4	3	12
	8.2.1	2	2	4
	8.2.2	2	3	6
	8.2.3	2	2	4
	8.2.4	2	2	4
	8.2.5	2	2	4
	8.2.6	2	3	6
	8.3.1	2	2	4
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	9.1.1	3	4	12
	9.1.2	4	3	12
	9.2.1	2	3	6
	9.2.2	2	2	4
	9.2.3	2	2	4
	9.2.4	2	2	4
	9.2.5	2	3	6
	9.2.6	2	3	6
	10.1.1	5	2	10
	10.1.2	5	1	5
	10.1.3	5	2	10
	10.1.4	5	5	25
	10.1.5	5	4	20
	10.1.6	5	4	20
	10.2.1	5	1	5
	10.2.2	5	1	5
	10.2.3	5	1	5
	10.2.4	5	1	5
	10.2.5	5	5	25
	10.2.6	4	5	20
	10.3.1	4	1	4
	10.3.2	4	1	4

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.35: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 3/5).

Etapas	Parâmetro		Resultado
Risk ID	S	O	Risco associado
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	10.3.3	2	3	6
	10.3.4	2	1	2
	10.3.5	2	1	2
	10.3.6	2	1	2
	10.3.7	2	2	4
	10.3.8	2	1	2
	10.3.9	3	2	6
	10.3.10	2	2	4
	10.4.1	3	2	6
	10.5.1	4	2	8
	10.6.1	5	2	10
	10.6.2	5	3	15
	10.6.3	5	3	15
	10.6.4	5	3	15
	10.6.5	5	2	10
	10.7.1	5	1	5
	10.7.2	4	4	16
	10.7.3	2	4	8
Inspeção Interior da Garrafa após o processo de secagem	11.1.1	3	2	6
	11.1.2	5	2	10
	11.1.3	2	4	8
	11.1.4	5	2	10
	11.1.5	2	3	6
	11.2.1	2	2	4
	11.2.2	2	2	4
	11.2.3	2	2	4
	11.2.4	2	4	8
	11.2.5	2	4	8
	11.2.6	2	3	6
	11.2.7	2	3	6
Transporte da garrafa desde o local de secagem até perto da cadeia aérea automática	12.1.1	4	3	12
	12.1.2	3	2	6
	12.2.1	2	3	6
	12.2.2	2	3	6
	12.2.3	2	3	6
	12.2.4	2	3	6
	12.2.5	2	3	6
	12.2.6	3	2	6
Repouso da garrafa antes de entrar na cadeia aérea automática	13.1.1	4	3	12
	13.1.2	3	3	9
	13.2.1	2	2	4
	13.2.2	2	4	8
	13.2.3	2	3	6
	13.2.4	2	3	6
	13.2.5	2	3	6
	13.2.6	2	3	6
	13.3.1	5	2	10

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.36: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 4/5).

	Etapas	Parâmetro		Resultado
	Risk ID	S	O	Risco associado
Colocação do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia aérea automática	14.1.1	3	1	3
	14.2.1	2	4	8
	14.2.2	2	2	4
	14.2.3	2	2	4
Colocação da garrafa na cadeia aérea automática	15.1.1	2	1	2
	15.1.2	2	1	2
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à	16.1.1	2	2	4
	16.1.2	2	2	4
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	17.1.1	2	2	4
	17.2.1	2	2	4
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à pintura do	18.1.1	2	2	4
	18.1.2	2	2	4
Pintura do corpo da garrafa	19.1.1	2	2	4
	19.1.2	2	2	4
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	20.1.1	2	2	4
	20.1.2	2	2	4
Cozimento de tinta no forno	21.1.1	2	1	2
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	22.1.1	2	2	4
	22.1.2	2	2	4
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	23.1.1	3	2	6
	23.2.1	4	2	8
	23.3.1	3	2	6
	23.4.1	4	2	8
	23.4.2	4	2	8
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde o forno até à pintura	24.1.1	2	2	4
	24.1.2	2	2	4
Pintura da ogiva da garrafa	25.1.1	2	1	2
	25.2.1	2	2	4
	25.3.1	2	2	4
	25.4.1	3	2	6
	25.5.1	2	2	4
	25.5.2	2	2	4
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios de granalha	26.1.1	2	2	4
	26.1.2	2	2	4
	26.2.1	2	1	2
Remoção de vestígios de granalha com soprador	27.1.1	2	4	8
	27.1.2	3	4	12
	27.2.1	2	4	8
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios de granalha	27.1.1	2	2	4
	27.1.2	2	2	4
	27.2.1	2	1	2
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	28.1.1	2	1	2
	28.1.2	2	1	2
Transporte da garrafa desde a	29.1.1	4	3	12
	29.1.2	3	2	6
	29.2.1	3	2	6

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.37: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 5/5).

	Etapas	Parâmetro		Resultado
	Risk ID	S	O	Risco associado
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até perto do local de colocação da válvula	29.2.2	3	2	6
	29.2.3	3	2	6
	29.2.4	3	2	6
	29.2.5	2	3	6
	29.2.6	3	2	6
Repouso da garrafa antes de colocar a válvula	30.1.1	4	3	12
	30.1.2	3	2	6
	30.2.1	3	2	6
	30.2.2	3	4	12
	30.2.3	3	2	6
	30.2.4	3	3	9
	30.2.5	3	2	6
	30.2.6	2	3	6
Transporte da garrafa até ao local de colocação da válvula	31.1.1	4	3	12
	31.1.2	3	2	6
	31.2.1	3	2	6
	31.2.2	3	2	6
	31.2.3	3	2	6
	31.2.4	3	2	6
	31.2.5	2	3	6
	31.2.6	3	2	6
Montagem de válvula	32.1.1	4	2	8
	32.2.1	3	2	6
	32.2.2	2	1	2
	32.2.3	2	2	4

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.38: Análise de Risco baseada no RPN (Parte 1/4.

	RPN *threshold* = 25				
	Etapas	**Parâmetro**			**Resultado**
	Risk ID	**S**	**O**	**D**	**RPN**
Inspeção Interior da Garrafa antes desta seguir para o Teste de Pressão Hidráulica	1.1.1	2	2	2	8
	1.1.2	2	2	3	12
	1.1.3	2	4	2	16
	1.1.4	2	4	2	16
	1.1.5	2	5	2	20
	1.2.1	2	2	2	8
	1.2.2	2	4	2	16
	1.2.3	2	2	2	8
	1.2.4	2	5	2	20
	1.2.5	2	2	3	12
	1.2.6	2	3	3	18
	1.2.7	2	3	3	18
Transporte da garrafa desde o local de inspeção até perto da cabine te prova	2.1.1	2	3	3	18
	2.1.2	2	3	4	24
	2.2.1	2	3	4	24
	2.2.2	2	1	4	8
	2.2.3	2	3	4	24
	2.2.4	2	2	4	16
	2.2.5	2	3	4	24
	2.2.6	2	3	4	24
Repouso da garrafa antes de entrar na cabine de prova	3.1.1	2	3	3	18
	3.1.2	2	2	4	16
	3.2.1	2	1	4	8
	3.2.2	2	3	4	24
	3.2.3	2	1	4	8
	3.2.4	2	2	4	16
	3.2.5	2	2	4	16
	3.2.6	2	3	4	24
	3.2.7	2	2	1	4
Transporte da garrafa até à cabine de testing	4.1.1	2	3	3	18
	4.1.2	2	2	3	12
	4.2.1	2	3	4	24
	4.2.2	2	1	4	8
	4.2.3	2	2	4	16
	4.2.4	2	2	4	16
	4.2.5	2	3	4	24
	4.2.6	2	3	4	24
Testing : Teste de Pressão Hidráulico para testar se a garrafa tem consições para continuar ao serviço	5.1.1	5	1	1	5
	5.1.2	5	1	1	5
	5.1.3	5	1	1	5
	5.1.4	5	1	1	5
	5.1.5	5	1	1	5
	5.2.1	2	3	2	12
	5.2.2	2	3	2	12
	5.2.3	2	2	4	16
	5.3.1	4	2	2	16
	5.3.2	2	3	2	12
	5.3.3	5	2	2	20
	5.4.1	2	2	2	8
	5.5.1	2	3	2	12
	5.5.2	2	3	2	12

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.39: Análise de Risco baseada no RPN (Parte 2/4).

Marcação da Garrafa com a data de prova (ponto 5.1 BCGA AVOIDANCE AND DETECTION OF INTERNAL CORROSION OF GAS	6.1.1	2	1	2	4
	6.1.2	2	5	2	20
	6.3.1	2	3	2	12
	6.3.2	2	3	2	12
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	7.1.1	3	4	2	24
	7.1.2	4	3	2	24
	7.2.1	2	3	3	18
	7.2.2	2	2	1	4
	7.2.3	2	2	3	12
	7.2.4	2	2	3	12
	7.2.5	2	3	3	18
	7.2.6	2	3	3	18
Repouso da garrafa antes de entrar no processo de secagem	8.1.1	3	4	2	24
	8.1.2	4	3	2	24
	8.2.1	2	2	4	16
	8.2.2	2	3	3	18
	8.2.3	2	2	1	4
	8.2.4	2	2	4	16
	8.2.5	2	2	3	12
	8.2.6	2	3	4	24
	8.3.1	2	2	1	4
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	9.1.1	3	4	2	24
	9.1.2	4	3	2	24
	9.2.1	2	3	3	18
	9.2.2	2	2	1	4
	9.2.3	2	2	3	12
	9.2.4	2	2	3	12
	9.2.5	2	3	4	24
	9.2.6	2	3	4	24
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão Hidráulico	10.1.1	5	2	2	20
	10.1.2	5	1	1	5
	10.1.3	5	2	2	20
	10.1.4	5	5	3	75
	10.1.5	5	4	3	60
	10.1.6	5	4	3	60
	10.2.1	5	1	1	5
	10.2.2	5	1	1	5
	10.2.3	5	1	1	5
	10.2.4	5	1	1	5
	10.2.5	5	5	3	75
	10.2.6	4	5	3	60
	10.3.1	4	1	2	8
	10.3.2	4	1	3	12
	10.3.3	2	3	3	18
	10.3.4	2	1	2	4
	10.3.5	2	1	2	4
	10.3.6	2	1	2	4
	10.3.7	2	2	3	12
	10.3.8	2	1	3	6
	10.3.9	3	2	3	18
	10.3.10	2	2	2	8
	10.4.1	3	2	2	12
	10.5.1	4	2	2	16
	10.6.1	5	2	2	20
	10.6.2	5	3	4	60
	10.6.3	5	3	4	60
	10.6.4	5	3	4	60
	10.6.5	5	2	2	20

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.40: Análise de Risco baseada no RPN (Parte 3/4).

Inspeção Interior da Garrafa após o processo de secagem	10.7.1	5	1	2	10
	10.7.2	4	4	2	32
	10.7.3	2	4	2	16
	11.1.1	3	2	2	12
	11.1.2	5	2	2	20
	11.1.3	2	4	3	24
	11.1.4	5	2	2	20
	11.1.5	2	3	2	12
	11.2.1	2	2	2	8
	11.2.2	2	2	2	8
	11.2.3	2	2	3	12
	11.2.4	2	4	3	24
	11.2.5	2	4	3	24
	11.2.6	2	3	3	18
	11.2.7	2	3	4	24
Transporte da garrafa desde o local de secagem até perto da cadeia aérea automática	12.1.1	4	3	3	36
	12.1.2	3	2	4	24
	12.2.1	2	3	3	18
	12.2.2	2	3	3	18
	12.2.3	2	3	3	18
	12.2.4	2	3	3	18
	12.2.5	2	3	4	24
	12.2.6	3	2	4	24
Repouso da garrafa antes de entrar na cadeia aérea automática	13.1.1	4	3	3	36
	13.1.2	3	3	2	18
	13.2.1	2	2	4	16
	13.2.2	2	4	2	16
	13.2.3	2	3	3	18
	13.2.4	2	3	2	12
	13.2.5	2	3	3	18
	13.2.6	2	3	4	24
	13.3.1	5	2	2	20
Colocação do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia aérea automática	14.1.1	3	1	2	6
	14.2.1	2	4	3	24
	14.2.2	2	2	2	8
	14.2.3	2	2	2	8
Colocação da garrafa na cadeia aérea automática	15.1.1	2	1	1	2
	15.1.2	2	1	1	2
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à	16.1.1	2	2	2	8
	16.1.2	2	2	2	8
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	17.1.1	2	2	1	4
	17.2.1	2	2	2	8
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à pintura do	18.1.1	2	2	2	8
	18.1.2	2	2	2	8
Pintura do corpo da garrafa	19.1.1	2	2	2	8
	19.1.2	2	2	2	8
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	20.1.1	2	2	2	8
	20.1.2	2	2	2	8
Cozimento de tinta no forno	21.1.1	2	1	2	4
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	22.1.1	2	2	2	8
	22.1.2	2	2	2	8
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	23.1.1	3	2	3	18
	23.2.1	4	2	3	24
	23.3.1	3	2	2	12
	23.4.1	4	2	2	16
	23.4.2	4	2	2	16
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde o forno até à	24.1.1	2	2	2	8
	24.1.2	2	2	2	8

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela B.41: Análise de Risco baseada no RPN (Parte 4/4).

Pintura da ogiva da garrafa	25.1.1	2	1	1	2
	25.2.1	2	2	2	8
	25.3.1	2	2	2	8
	25.4.1	3	2	3	18
	25.5.1	2	2	3	12
	25.5.2	2	2	2	8
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios	26.1.1	2	2	2	8
	26.1.2	2	2	2	8
	26.2.1	2	1	1	2
Remoção de vestígios de granalha com soprador	27.1.1	2	4	3	24
	27.1.2	3	4	2	24
	27.2.1	2	4	3	24
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios	27.1.1	2	2	2	8
	27.1.2	2	2	1	4
	27.2.1	2	1	1	2
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	28.1.1	2	1	1	2
	28.1.2	2	1	1	2
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até perto do local de colocação da válvula	29.1.1	4	3	3	36
	29.1.2	3	2	4	24
	29.2.1	3	2	3	18
	29.2.2	3	2	3	18
	29.2.3	3	2	3	18
	29.2.4	3	2	3	18
	29.2.5	2	3	4	24
	29.2.6	3	2	4	24
Repouso da garrafa antes de colocar a válvula	30.1.1	4	3	3	36
	30.1.2	3	2	3	18
	30.2.1	3	2	4	24
	30.2.2	3	4	2	24
	30.2.3	3	2	3	18
	30.2.4	3	3	2	18
	30.2.5	3	2	3	18
	30.2.6	2	3	4	24
Transporte da garrafa até ao local de colocação da válvula	31.1.1	4	3	3	36
	31.1.2	3	2	4	24
	31.2.1	3	2	3	18
	31.2.2	3	2	3	18
	31.2.3	3	2	3	18
	31.2.4	3	2	3	18
	31.2.5	2	3	4	24
	31.2.6	3	2	4	24
Montagem de válvula	32.1.1	4	2	3	24
	32.2.1	3	2	3	18
	32.2.2	2	1	1	2
	32.2.3	2	2	2	8

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.42: FMEA (Parte 1/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Escovagem exterior da garrafa (apenas a superfície da ogiva para garrafas de aço)	**1.1.1**	Sujidade, corrosão ou similar no exterior da garrafa que não é bem removido	Garrafa com sujidade ou corrosão poderá afetar negativamente a pintura da ogiva	**2**	Máquina mal calibrada pelo próprio RP (p.e. pouca velocidade)	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-013; Por norma, se for visível, o RP apercebe-se que a garrafa de aço tem a ogiva mal escovada e repete o processo de escovagem neste local	**2**	**8**
	1.1.2			**2**	Escovas não chegam ao local da sujidade (particularmente da gola/gargalo da garrafa)	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-013; Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**1**	**8**
	1.1.3			**2**	Não se consegue remover	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-013; O RP pode recorrer a utensílios para poder tentar retirar uma sujidade que se encontre na parte da ogiva (e.g. facas, lixas ou panos com desengordurante)	**1**	**6**
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	**2.1.1**	Sujidade, corrosão ou similar no exterior da garrafa que não é bem removido	Garrafa com sujidade ou corrosão poderá afetar negativamente a pintura da ogiva	**3**	Tempo da decapagem da garrafa mal ajustado	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; O tempo programado para uma garrafa no interior da cabine e a levar com a projeção de granalha é de cerca de 680 seg = 11,33 min ; (8 lugares * 85 seg) ; por norma, é suficiente para deixar a superfície da garrafa preparada	**2**	**6**
	2.1.2			**3**	Falta de granalha ou maioritariamente granalha recirculada e com pouca eficácia de decapagem	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; A granalha é recolhida por extratores que estão na parte superior da cabine de decapagem e voltam a ser recirculadas no processo. A reposição de granalha fresca no sistema também é periódica e da responsabilidade do RP	**2**	**12**
	2.1.3			**3**	Tinta antiga muito aderente à superfície da garrafa	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; É função do RP, efetuar a reposição de granalha conforme no sistema de decapagem	**2**	**18**
	2.1.4			**3**	Inclinação da ogiva não favorável à decapagem	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032;A projeção de granalha é efetuada em diversas direções e a cabine fechada permite que o trajeto das partículas seja aleatório	**2**	**6**
	2.1.5			**3**	Balanço da garrafa que não favorece a decapagem	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Na cabine da decapagem existe rotação da garrafa através de um sistema mecânico mas este não favorece a estabilização	**2**	**18**
	2.1.6			**3**	Sistema de extração de partículas da camara de decapagem não é eficiente devido à falta de mnutenção	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; O sistema de decapagem tem a recirculação de partículas de granalha, no entanto, chega a um tamanho que estas são muito pequenas e são retidas num contentor. Os RP devem efetuar o despejo do contentor de partículas de forma regular	**2**	**24**
	2.2.1	Portas da granalhadora desreguladas	Atraso no processo e possível impacto no produto final	**1**	Garrafa presa na porta de saída	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Ocorre a manutenção por parte da AJF, quando as falhas ocorrem. Os RP devem prestar auxílio e tentar repor a garrafa na cadeia automática aérea	**1**	**2**
	2.3.1	Garrafa cai no interior da camara	Atraso no processo e possível impacto no produto final	**1**	Sistema de rotação da garrafa encravado	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Os RPs devem tentar repor a garrafa na cadeia automática aérea	**2**	**6**
	2.4.1	Garrafa presa na camara	Atraso no processo e possível impacto no produto final	**1**	Portas da granalhadora não abrem	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Os RPs devem tentar repor a garrafa na cadeia automática aérea	**1**	**1**
	2.5.1	Falta de granalha	Decapagem mal executada, pintura da ogiva não eficiente e produto final com defeitos na ogiva	**3**	Falta de reposição de material por parte do RP	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; A reposição de granalha deve ser efetuada de forma regular por parte dos RPs. As garrafas ficam mal decapadas e é fácil de ser detetado.	**2**	**12**
	2.5.2			**3**	Sistema de projeção avariado	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Garrafas ficam mal decapadas e é fácil de ser detetado.	**1**	**3**
	3.1.1	Pintura não uniforme	O produto final tem defeitos na pintura da ogiva	**2**	Sistema mecânico de rotação da garrafa avariado	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Depois da garrafa sair da cabine de pintura, pode ser detetado pelo RP, apesar deste percurso ser pouco visível	**1**	**2**
	3.1.2			**2**	Falta de aderência da tinta em pó à superfície da garrafa	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Depois da garrafa sair da cabine de pintura, pode ser detetado pelo RP, apesar deste percurso ser pouco visível	**2**	**4**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.43: FMEA (Parte 2/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Pintura do corpo da garrafa	**3.1.3**			**2**	Pistolas de projeção não conformes e.g. com acumulação de tinta em pó	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Depois da garrafa sair da cabine de pintura, pode ser detetado pelo RP, apesar deste percurso ser pouco visível	**1**	**4**
	3.2.1	Ogiva pintada	Tinta da ogiva não adere e existem defeitos na pintura da mesma	**4**	Banda de proteção da ogiva mal ajustada ao tamanho da garrafa	**5**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; A banda de proteção da ogiva é fixa pelo que independentemente do desenho da garrafa, existe sempre uma altura fixa na garrafa que não é pintada com tinta de corpo	**3**	**60**
	3.2.2			**4**	Pistolas de projeção desreguladas	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Caso exista algum problem com as pistolas, o problema é potencialmente detetado a jusante. Depois da garrafa sair da cabine de pintura, pode ser detetado pelo RP, apesar deste percurso ser pouco visível	**2**	**8**
Processo de cura da tinta do corpo no forno	**4.1.1**	Temperatura não adequada	Tinta do corpo não coze o que pode impactar a pintura da ogiva e existem problemas no produto final	**2**	Falta de conhecimento do processo de pintura por parte dos RP	**1**	Existe um procedimento de boas práticas e avaliação de desempenho	**1**	**2**
	4.1.2			**2**	Problema com o forno	**1**	Se a tinta do corpo não curar de forma apropriada, a superfície da garrafa onde a tinta em pó foi aplicada está visivelmente "crua"	**2**	**4**
	4.1.3			**2**	Temperatura demasiadamente elevada	**2**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O pergurso das garrafas é efetuado em ziguezague ao longo da cabine. O forno está programado para ~130ºC, temperatura suficiente para a conformidade da pintura.	**3**	**12**
	4.1.4			**2**	Temperatura baixa para poder para cozer a tinta	**1**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O pergurso das garrafas é efetuado em ziguezague ao longo da cabine. O forno está programado para ~130ºC, temperatura suficiente para a conformidade da pintura.	**2**	**4**
	4.2.1	Cura da tinta do corpo não uniforme	Tinta do corpo não uniforme o que pode impactar a pintura da ogiva e existem problemas no produto final	**2**	Sistema mecânico do forno avariado	**1**	É muito pouco provável o circuito da cadeia aérea automática fique avariado	**2**	**4**
	4.2.2			**2**	Temperatura do forno insuficiente	**1**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O pergurso das garrafas é efetuado em ziguezague ao longo da cabine. O forno está programado para ~130ºC, temperatura suficiente para a conformidade da pintura.	**2**	**4**
	4.3.1	Garrafa muito quente	Problemas na pintura da ogiva	**2**	Demasiado tempo no forno	**5**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O pergurso das garrafas é efetuado em ziguezague ao longo da cabine. O forno está programado para ~130ºC, temperatura suficiente para a conformidade da pintura.	**3**	**30**
	5.1.1	Ventilação não eficiente	Ventilação projetada sobre a ogiva não eficiente pode levar à pintura não conforme da ogiva	**3**	Temperatura ambiente não favorável (dia de verão com temperatura elevada)	**3**	Dias de verão não favorecem o processo de arrefecimento da ogiva, uma vez que o mesmo é exposto às condições externas, no entanto, garrafas expostas e visivelmente prejudicadas são selecionadas e tratadas de novo na cadeia aérea automática. Problemas não visíveis não são detetados.	**2**	**18**
	5.1.2			**3**	Variações na H e T do ar atmosférico (ar estagnado ou dia de neblina onde existe saturação do ar)	**3**	As condições atmosféricas podem afetar drasticamente o processo de arrefecimento. Nos dias de verão, existem dias em que os RPs fecham o portão de saída, perto do forno para que o calor não entre.	**2**	**18**
	5.1.3			**3**	Défice no caudal de projeção do ar	**5**	Os ventiladores que projetam o ar atmosférico para a ogiva da garrafa têm um caudal não favorável ao processo de arrefecimento.	**2**	**30**
	5.1.4			**3**	Projeção situada apenas num local específico da ojiva (não há sistema mecânico de rotação)	**5**	Os ventiladores que projetam o ar atmosférico para a ogiva da garrafa têm um caudal não favorável ao processo de arrefecimento.	**2**	**30**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.44: FMEA (Parte 3/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	**5.1.5**	Arrefecimento não eficiente	Arrefecimento da ogiva não eficiente pode levar à pintura não uniforme da ogiva	**3**	Arrefecimento dá-se perto do forno pelo que o ar ambiente está quente	**5**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O forno está programado para ~130ºC e parte da temperatura é transmitida por condução para o exterior. Por outro lado, a porta de saída do forno está permanentemente aberta e as garrafas vêm muito quentes (cerca de 90ºC) o que faz com que a temperatura envolta do forno seja consideravelmente elevada. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**30**
	5.2.1			**3**	Tempo insuficiente da garrafa no local de arrefecimento	**4**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na cadeia aérea atomática até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas circundantes também irão transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo.	**2**	**24**
	5.2.2			**3**	Condiçõoes desfavoráveis do ar atmosférico que é canalizado para o arrefecimento (dia com T elevada)	**3**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na cadeia aérea atomática até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas circundantes também irão transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo; Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**18**
	5.2.3			**3**	Projeção situada apenas num local específico da ojiva (não há sistema mecânico de rotação)	**5**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na cadeia aérea atomática até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas circundantes também irão transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**30**
	5.2.4			**3**	Arrefecimento dá-se perto do forno pelo que o ar ambiente está quente	**5**	O forno funciona por sistema de aquecimento indireto, o que faz com que a temperatura seja heterogeneamente distribuida ao longo da cabine. O forno está programado para ~130ºC e parte da temperatura é transmitida por condução para o exterior. Por outro lado, a porta de saída do forno está permanentemente aberta e as garrafas vêm muito quentes (cerca de 90ºC) o que faz com que a temperatura envolta do forno seja consideravelmente elevada. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**30**
	6.1.1			**3**	Projeção situada apenas num local específico da ojiva (não há sistema mecânico de rotação)	**4**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na cadeia aérea atomática até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas circundantes também irão transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**24**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.45: FMEA (Parte 4/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Transporte desde o local de arrefecimento até pintura da ogiva	**6.1.2**	Aquecimento da garrafa devido à massa que permanece quente	Arrefecimento da ogiva não eficiente pode levar à pintura não uniforme da ogiva	**3**	Massa do corpo permanece a uma temperatura elevada	**5**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na cadeia aérea atomática até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas circundantes também irão transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**30**
	6.1.3			**3**	Garrafa uniformiza a sua temperatura na ogiva	**5**	As garrafas levam cerca de 85 s em cada lugar presente na cadeia aérea atomática até avançarem para a próxima posição. Existem poucos lugares entre o forno e o local do processo de pintura da ogiva. Com um arrefecimento heterogéneo da garrafa, a massa constituinte da garrafa que permanece quente irá dispersar calor para as zonas mais frias. Por outro lado, devido ao afastamento das garrafas ser relativamente pequeno, as garrafas circundantes também irão transmitir parte da sua temperatura para o ar envolvente e aquecê-lo.	**2**	**30**
	6.2.1	Projeção de água para a superfície da ogiva	Pode criar zonas onde a tinta da ogiva está mais diluída e fazer com que a pintura não fique uniforme	**4**	Combinação entre cascata de água e a sua falta de manutenção e vento provocado por correntes de ar	**2**	Quando o portão de saída está aberto, existe corrente de ar criada perto dos processos de arrefecimento e de pintura da ogiva. Adicionalmente, existe um sistema de "lavagem" da tinta aquosa projetada sobre a superfície na retaguarda da garrafa que está a ser pintada. Até certo ponto de acumulação, esta tinta é dissolvida na água, mas quando começa a acumular de forma a que fica exposta ao ar, seca. Os RPs têm a responsabilidade de efetuar manutenção da "cortina de água" que é recirculada e tanto retirar a tinta acumulada, como mudar a água que apartir de uma certa quantidade começa a estar saturada de tinta e cria deposições e congestionamentod no sistema de recirculação. Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**16**
	7.1.1	Pintura não eficiente	A falha na pintura da ogiva, obriga os RP's a adquirir ações preventivas ou corretivas para que a pintura seja conforme e garrafa não tenha necessidade de ser de novo colocada na cadeia aérea automática (não se descarta esta hipótese), no entanto, nem sempre este poderá estar desponível para monitorizar os	**4**	Humidade presente no ar ambiente (p.e. inverno)	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; RP pode reparar pintura da ogiva com tinta de lata em spray	**2**	**16**
	7.1.2			**5**	Pistolas de dispersão mal calibradas (posicionamento ou acumulação de tinta)	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; É da responsabilidade do RP efetuar o posicionamento das pistolas de projeção de tinta, bem como ajustar as bandas à altura da ogiva	**1**	**15**
	7.1.3			**4**	Banda mal ajustada	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; RP ajusta a banda e as pistolas de projeção da tinta	**2**	**24**
	7.1.4			**5**	Sistema mecânico de rotação da garrafa avariado	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; É pouco provável que o sistema de rotação de garrafas esteja avariado. A manutenção de problemas ocorrridos na cadeia aérea automática é assegurada pela AJF.	**1**	**5**
	7.1.5			**5**	Garrafa com temperatura não favorável	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Quando existe uma não conformidade visível na pintura, o RP acaba por tentar reparar a mesma através da recolocação da garrafa na cadeia aérea automática para que esta volte a completar o ciclo de acabamento da superfície	**2**	**40**
	7.1.6			**5**	Tubagens por onde a tinta da ogiva deve passar estão congestionadas	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; A tubagem por onde a tinta passa não deve nunca ficar com tinta no seu interior após a pintura da ogiva ocorrer. Como consequencias, a secagem da tinta no interior das tubagens poderá propiciar o congestionamento e a acumulação de tinta e comprometer a atividade *a posteriori* .	**1**	**10**
	7.2.1	Tinta empola		**3**	Má homogenização da tinta antes da sua aplicação	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; A tinta aquosa a aplicar na ogiva da garrafa já vem preparada	**1**	**6**
	7.2.2			**3**	Projeção da tinta não uniforme	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; As pistolas de projeção da tinta na ogiva são adequados à utilização com tintas aquosas	**1**	**9**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.46: FMEA (Parte 5/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Pintura da ogiva da garrafa	**7.2.3**		processos não otimizados e que provocam a não conformidade na identificação do produto em causa	**3**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (quente)	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Quando a temperatura da seuperfície da ogiva está com temperatura elevada, a tinta tem dificuldade em aderir e cria pequenas bolhas de ar dispersas ao longo da ogiva	**2**	**24**
	7.3.1	Tinta escorre		**5**	Água em excesso na mistura de tinta (tempo de purga depois da lavagem inferior ao recomentado)	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; A tinta aquosa a aplicar na ogiva da garrafa já vem preparada. No entanto, quando se abre a lata de tinta, esta não se encontra homogenizada. É necessária a sua agiração. Isto é propiciado por im sistema de mistura com hélices.	**1**	**10**
	7.3.2			**4**	Projeção da tinta não uniforme (de forma localizada)	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Quando o RP se apercebe destas situações, tenta reverter a situação, por exemplo, desligando o sistema de pintura da ogiva e efetuando ações de correção	**2**	**24**
	7.3.3			**4**	Ojiva parcialmente pintada com tinta do corpo	**5**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Na maioria das garrafas, foi identificado que parte da ogiva fica pintada com tinta do corpo da garrafa. Se esta interface não for bem feita, existe a possibilidade da tinta escorrer no local onde a tinta aquosa da ogiva sobepõe a tinta de corpo.	**2**	**40**
	7.3.4			**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do *set point* ser atingida.	**2**	**40**
	7.4.1	Tinta errada		**5**	Engano por parte do RP	**1**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-032; Como se trata de um engano visível, quando o RP se apercebe tenta corrigir o erro com a maior rapidez possível	**1**	**5**
	7.5.1	Projeção de gotículas de água para a superfície da ogiva	Pode criar zonas onde a tinta da ogiva está mais diluída e fazer com que a pintura não fique uniforme	**4**	Combinação entre cascata de água e a sua falta de manutenção e vento provocado por correntes de ar	**2**	Quando o portão de saída está aberto, existe corrente de ar criada perto dos processos de arrefecimento e de pintura da ogiva. Adicionalmente, existe um sistema de "lavagem" da tinta aquosa projetada sobre a superfície na retaguarda da garrafa que está a ser pintada. Até certo ponto de acumulação, esta tinta é dissolvida na água, mas quando começa a acumular de forma a que fica exposta ao ar, seca. Os RPs têm a responsabilidade de efetuar manutenção da "cortina de água" que é recirculada e tanto retirar a tinta acumulada, como mudar a água que apartir de uma certa quantidade começa a estar saturada de tinta e cria deposições e congestionamentod no sistema de recirculação; Para garrafas com pintura não conforme, existe a possibilidade de voltar a colocá-la no circuito da cadeia aérea automática.	**2**	**16**
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	**8.1.1**	Tinta empola	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**3**	Má homogenização da tinta antes da sua aplicação	**2**	A tinta aquosa a aplicar na ogiva da garrafa já vem preparada	**1**	**6**
	8.1.2			**3**	Projeção da tinta não uniforme	**3**	As pistolas de projeção da tinta na ogiva são adequadas à utilização com tintas aquosas	**1**	**9**
	8.1.3			**3**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (quente)	**4**	Quando a temperatura da seuperfície da ogiva está com temperatura elevada, a tinta tem dificuldade em aderir e cria pequenas bolhas de ar dispersas ao longo da ogiva	**2**	**24**
	8.2.1	Tinta escorre	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**5**	Água em excesso na mistura de tinta (tempo de purga depois da lavagem inferior ao recomentado)	**2**	A tinta aquosa a aplicar na ogiva da garrafa já vem preparada. No entanto, quando se abre a lata de tinta, esta não se encontra homogenizada. É necessária a sua agiração. Isto é propiciado por im sistema de mistura com hélices.	**1**	**10**
	8.2.2			**4**	Projeção da tinta não uniforme (de forma localizada)	**3**	Quando o RP se apercebe destas situações, tenta reverter a situação, por exemplo, desligando o sistema de pintura da ogiva e efetuando ações de correção	**2**	**24**
	8.2.3			**4**	Ojiva parcialmente pintada com tinta do corpo	**5**	Na maioria das garrafas, foi identificado que parte da ogiva fica pintada com tinta do corpo da garrafa. Se esta interface não for bem feita, existe a possibilidade da tinta escorrer no local onde a tinta aquosa da ogiva sobepõe a tinta de corpo.	**2**	**40**
	8.2.4			**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**4**	No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do *set point* ser atingida.	**2**	**40**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.47: FMEA (Parte 6/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
	8.3.1	Danificação da pintura	A gravidade provocada pelas partículas de tinta pode fazer com que a tinta escorra; A falha na pintura da ogiva, obriga os RP's a adquirir ações preventivas ou corretivas para que a pintura seja conforme e garrafa não tenha necessidade de ser de novo colocada na cadeia aérea automática (não se descarta esta hipótese).	**4**	Queda de partículas na ogiva (granalha proveniente do processo de decapagem)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	**9.1.1**	Danificação da pintura	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**2**	No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do *set point* ser atingida.	**2**	**20**
	9.1.2			**3**	RP deixa cair a garrafa	**1**	As garrafas cuja ojiva tem defeitos devem ser de novo reintroduzidas no circuito da cadeia aérea automática de forma a se proceder novamente ao tratamento de superfície	**1**	**3**
	9.1.3		A gravidade provocada pelas partículas de tinta pode fazer com que a tinta escorra A falha na pintura da ogiva	**4**	Queda de partículas na ogiva (granalha proveniente do processo de decapagem)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	**10.1.1**	Danificação da pintura	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**3**	RP toca na tinta ogiva quando ela ainda não está totalmente seca ou garrafas tocam umas nas outras	**4**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	10.1.2			**3**	Garrafas tocam umas nas outras e danificam a pintura da ogiva	**4**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	10.1.3			**4**	Queda de partículas na ogiva (partículas do ar)	**2**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**16**
	10.1.4			**4**	Queda de partículas na ogiva (granalha proveniente do processo de decapagem)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	10.2.1	Tinta empola	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**3**	Má homogenização da tinta antes da sua aplicação	**1**	A tinta aquosa a aplicar na ogiva da garrafa já vem preparada	**1**	**3**
	10.2.2			**3**	Projeção da tinta não uniforme	**3**	As pistolas de projeção da tinta na ogiva são adequados à utilização com tintas aquosas	**1**	**9**
	10.2.3			**3**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (quente)	**4**	Quando a temperatura da seuperfície da ogiva está com temperatura elevada, a tinta tem dificuldade em aderir e cria pequenas bolhas de ar dispersas ao longo da ogiva	**2**	**24**
	10.3.1	Tinta escorre	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**5**	Água em excesso na mistura de tinta (tempo de purga depois da lavagem inferior ao recomentado)	**2**	A tinta aquosa a aplicar na ogiva da garrafa já vem preparada. No entanto, quando se abre a lata de tinta, esta não se encontra homogenizada. É necessária a sua agiração. Isto é propiciado por im sistema de mistura com hélices.	**1**	**10**
	10.3.2			**5**	Projeção da tinta não uniforme (de forma localizada)	**2**	Quando o RP se apercebe destas situações, tenta reverter a situação, por exemplo, desligando o sistema de pintura da ogiva e efetuando ações de correção	**2**	**20**
	10.3.3			**4**	Ojiva parcialmente pintada com tinta do corpo	**5**	Na maioria das garrafas, foi identificado que parte da ogiva fica pintada com tinta do corpo da garrafa. Se esta interface não for bem feita, existe a possibilidade da tinta escorrer no local onde a tinta aquosa da ogiva sobepõe a tinta de corpo.	**2**	**40**
	10.3.4			**5**	Temperatura da superfície da ogiva não favorável (fria) quando o forno não está suficientemente quente	**4**	No arranque do forno, por exemplo que demora cerca de 20 min até a temperatura do *set point* ser atingida.	**2**	**40**
	11.1.1	Não ocorre	Garrafa fica retida até que se consiga retirar o perne de transporte	**1**	Rosca demasiadamente apertada (corrosão)	**1**	Deixa-se a garrafa arrefecer e depois tenta-se tirar o perne	**1**	**1**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.48: FMEA (Parte 7/7).

Considere-se uma garrafa de gás comprimido com material de construção de aço, pois estas são as únicas que podem ser submetidas aos processos de manutenção da cadeia aérea automática									
Etapa do Processo	**ID**	**Potencial Modo de Falha**	**Potencial Efeito de Falha**	**S**	**Potenciais Causas**	**O**	**Processos de Controlo Atuais**	**D**	**RPN**
Remoção do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia de pintura	**11.2.1**	Danificação da pintura	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**3**	RP toca na tinta ogiva quando ela ainda não está totalmente seca ou garrafas tocam umas nas outras	**4**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	11.2.2			**3**	Garrafas tocam umas nas outras e danificam a pintura da ogiva	**4**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	11.2.3			**4**	Queda de partículas na ogiva (partículas do ar)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	11.2.4			**4**	Queda de partículas na ogiva (granalha proveniente do processo de decapagem)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até ao local de colocação da válvula	**12.1.1**	Danificação da pintura	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**3**	RP toca na tinta ogiva quando ela ainda não está totalmente seca ou garrafas tocam umas nas outras	**4**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	12.1.2			**3**	Garrafas tocam umas nas outras e danificam a pintura da ogiva	**4**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	12.1.3			**4**	Queda de partículas na ogiva (partículas do ar)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	12.1.4			**4**	Queda de partículas na ogiva (granalha proveniente do processo de decapagem)	**3**	Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
Montagem da válvula	**13.1.1**	Danificação da pintura	Problemas na pintura podem levar a que a identificação do gás no interior da embalagem seja impactada; cliente insatisfeito	**3**	RP toca na tinta ogiva quando ela ainda não está totalmente seca ou garrafas tocam umas nas outras	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	13.1.2			**3**	Garrafas tocam umas nas outras e danificam a pintura da ogiva	**4**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	13.1.3			**4**	Queda de partículas na ogiva (partículas do ar)	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	13.1.4			**4**	Queda de partículas na ogiva (granalha proveniente do processo de decapagem)	**3**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Se o caso for muito grave, a garrafa volta a efetuar o circuito da cadeia aérea automática	**2**	**24**
	13.2.1	Não ocorre e garrafa fica exposta às condições atmosféricas e a impurezas	Garrafa fica retida e exposta temporariamente até à montagem da válvula	**1**	Problemas com a rosca (corrosão)	**2**	Seguimento do procedimento PT-TPH-AR-021; Dependente da vazão das garrafas do circuidto da cadeia aérea automática	**1**	**2**

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.49: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 1/2.

Etapas	Risk ID	Parâmetro S	Parâmetro O	Resultado Risco associado
Escovagem exterior da garrafa (apenas a superfície da ogiva para garrafas de aço)	1.1.1	2	2	4
	1.1.2	2	4	8
	1.1.3	2	3	6
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	2.1.1	3	1	3
	2.1.2	3	2	6
	2.1.3	3	3	9
	2.1.4	3	1	3
	2.1.5	3	3	9
	2.1.6	3	4	12
	2.2.1	1	2	2
	2.3.1	1	3	3
	2.4.1	1	1	1
	2.5.1	3	2	6
	2.5.2	3	1	3
Pintura do corpo da garrafa	3.1.1	2	1	2
	3.1.2	2	1	2
	3.1.3	2	2	4
	3.2.1	4	5	20
	3.2.2	4	1	4
Processo de cura da tinta do corpo no forno	4.1.1	2	1	2
	4.1.2	2	1	2
	4.1.3	2	2	4
	4.1.4	2	1	2
	4.2.1	2	1	2
	4.2.2	2	1	2
	4.3.1	2	5	10
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	5.1.1	3	3	9
	5.1.2	3	3	9
	5.1.3	3	5	15
	5.1.4	3	5	15
	5.1.5	3	5	15
	5.2.1	3	4	12
	5.2.2	3	3	9
	5.2.3	3	5	15
	5.2.4	3	5	15
Transporte desde o local de arrefecimento até pintura da ogiva	6.1.1	3	4	12
	6.1.2	3	5	15
	6.1.3	3	5	15
	6.2.1	4	2	8
Pintura da ogiva da garrafa	7.1.1	4	2	8
	7.1.2	5	3	15
	7.1.3	4	3	12
	7.1.4	5	1	5
	7.1.5	5	4	20
	7.1.6	5	2	10
	7.2.1	3	2	6
	7.2.2	3	3	9
	7.2.3	3	4	12

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.50: Análise de Risco baseada na Criticidade (Parte 2/2).

	Etapas	Parâmetro		Resultado
	Risk ID	S	O	Risco associado
	7.3.1	5	2	10
	7.3.2	4	3	12
	7.3.3	4	5	20
	7.3.4	5	4	20
	7.4.1	5	1	5
	7.5.1	4	2	8
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	8.1.1	3	2	6
	8.1.2	3	3	9
	8.1.3	3	4	12
	8.2.1	5	2	10
	8.2.2	4	3	12
	8.2.3	4	5	20
	8.2.4	5	4	20
	8.3.1	4	3	12
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	9.1.1	5	2	10
	9.1.2	3	1	3
	9.1.3	4	3	12
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	10.1.1	3	4	12
	10.1.2	3	4	12
	10.1.3	4	2	8
	10.1.4	4	3	12
	10.2.1	3	1	3
	10.2.2	3	3	9
	10.2.3	3	4	12
	10.3.1	5	2	10
	10.3.2	5	2	10
	10.3.3	4	5	20
	10.3.4	5	4	20
Remoção do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia de pintura	11.1.1	1	1	1
	11.2.1	3	4	12
	11.2.2	3	4	12
	11.2.3	4	3	12
	11.2.4	4	3	12
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até ao local de colocação da válvula	12.1.1	3	4	12
	12.1.2	3	4	12
	12.1.3	4	3	12
	12.1.4	4	3	12
Montagem da válvula	13.1.1	3	4	12
	13.1.2	3	4	12
	13.1.3	4	3	12
	13.1.4	4	3	12
	13.2.1	1	2	2

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.51: Análise de Risco baseada no RPN (Parte 1/2.

	RPN *threshold* = 25				
	Etapas	**Parâmetro**			**Resultado**
	Risk ID	**S**	**O**	**D**	**RPN**
Escovagem exterior da garrafa (apenas a superfície da ogiva para garrafas de aço)	1.1.1	2	2	2	8
	1.1.2	2	4	1	8
	1.1.3	2	3	1	6
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	2.1.1	3	1	2	6
	2.1.2	3	2	2	12
	2.1.3	3	3	2	18
	2.1.4	3	1	2	6
	2.1.5	3	3	2	18
	2.1.6	3	4	2	24
	2.2.1	1	2	1	2
	2.3.1	1	3	2	6
	2.4.1	1	1	1	1
	2.5.1	3	2	2	12
	2.5.2	3	1	1	3
Pintura do corpo da garrafa	3.1.1	2	1	1	2
	3.1.2	2	1	2	4
	3.1.3	2	2	1	4
	3.2.1	4	5	3	60
	3.2.2	4	1	2	8
Processo de cura da tinta do corpo no forno	4.1.1	2	1	1	2
	4.1.2	2	1	2	4
	4.1.3	2	2	3	12
	4.1.4	2	1	2	4
	4.2.1	2	1	2	4
	4.2.2	2	1	2	4
	4.3.1	2	5	3	30
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	5.1.1	3	3	2	18
	5.1.2	3	3	2	18
	5.1.3	3	5	2	30
	5.1.4	3	5	2	30
	5.1.5	3	5	2	30
	5.2.1	3	4	2	24
	5.2.2	3	3	2	18
	5.2.3	3	5	2	30
	5.2.4	3	5	2	30
Transporte desde o local de arrefecimento até pintura da ogiva	6.1.1	3	4	2	24
	6.1.2	3	5	2	30
	6.1.3	3	5	2	30
	6.2.1	4	2	2	16
Pintura da ogiva da garrafa	7.1.1	4	2	2	16
	7.1.2	5	3	1	15
	7.1.3	4	3	2	24
	7.1.4	5	1	1	5
	7.1.5	5	4	2	40
	7.1.6	5	2	1	10
	7.2.1	3	2	1	6
	7.2.2	3	3	1	9

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela B.52: Análise de Risco baseada no RPN (Parte 2/2).

Etapas	Risk ID	Parâmetro S	O	D	Resultado RPN
	7.2.3	3	4	2	24
	7.3.1	5	2	1	10
	7.3.2	4	3	2	24
	7.3.3	4	5	2	40
	7.3.4	5	4	2	40
	7.4.1	5	1	1	5
	7.5.1	4	2	2	16
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	8.1.1	3	2	1	6
	8.1.2	3	3	1	9
	8.1.3	3	4	2	24
	8.2.1	5	2	1	10
	8.2.2	4	3	2	24
	8.2.3	4	5	2	40
	8.2.4	5	4	2	40
	8.3.1	4	3	2	24
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	9.1.1	5	2	2	20
	9.1.2	3	1	1	3
	9.1.3	4	3	2	24
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	10.1.1	3	4	2	24
	10.1.2	3	4	2	24
	10.1.3	4	2	2	16
	10.1.4	4	3	2	24
	10.2.1	3	1	1	3
	10.2.2	3	3	1	9
	10.2.3	3	4	2	24
	10.3.1	5	2	1	10
	10.3.2	5	2	2	20
	10.3.3	4	5	2	40
	10.3.4	5	4	2	40
Remoção do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia de pintura	11.1.1	1	1	1	1
	11.2.1	3	4	2	24
	11.2.2	3	4	2	24
	11.2.3	4	3	2	24
	11.2.4	4	3	2	24
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até ao local de colocação da válvula	12.1.1	3	4	2	24
	12.1.2	3	4	2	24
	12.1.3	4	3	2	24
	12.1.4	4	3	2	24
Montagem da válvula	13.1.1	3	4	2	24
	13.1.2	3	4	2	24
	13.1.3	4	3	2	24
	13.1.4	4	3	2	24
	13.2.1	1	2	1	2

C

Apêndice 3 Tabelas de classificação

Tabela C.1: Escala elaborada para identificar produtos críticos.

Escala	Classificação	Intervalo (ppm v/v H2O)
1	Muito Crítico	≤10
2	Crítico	10 < x < 100
3	Pouco Crítico	≥100

Tabela C.2: Tabela de classificação de produtos da AL (Parte 1/2).

Produtos	Mistura	Componentes	Conteúdo em H_2O (5bar) (ppm v/v)	Fonte	Controlo
Alphagaz 2 SMARTOP	Sim	N2 / O2	0,5	myProd	1
Alphagaz 2 Argon	Não	Ar	0,5	myProd	1
Alphagaz 2 Hidrogénio	Não	H2	0,5	myProd	1
Alphagaz 2 Oxigénio	Não	O2	0,5	myProd	1
Alphagaz 2 Hélio	Não	He	0,5	myProd	1
Alphagaz 2 Azoto	Não	N2	0,5	myProd	1
Alphagaz 1 AR SMARTOP	Sim	N2 / O2	3	myProd	1
Alphagaz 1 Argon	Não	Ar	3	myProd	1
Alphagaz 1 Hidrogénio	Não	H2	3	myProd	1
Alphagaz 1 Oxigénio	Não	O2	3	myProd	1
Alphagaz 1 Hélio	Não	He	3	myProd	1
Alphagaz 1 Azoto	Não	N2	3	myProd	1
Arcal Prime	Não	Ar	5	myProd	1
Alphagaz Mix 95% Ar / 5% CH4	Sim	Ar / CH4	5	myProd	1
Alphagaz Mix 90% Ar / 10% CH5	Sim	Ar / CH4	5	myProd	1
Alphagaz Mix 95% Ar / 5% H2	Sim	Ar / H2	5	myProd	1
Arcal 1	Não	Ar	5	myProd	1
R744	Não	CO2	5	myProd	1
Alphagaz Mix 5% CO2 / 95% O2	Sim	O2 / CO2	5	myProd	1
Lasal 4	Não	He	5	myProd	1
Lasal 81	Sim	He / N2 / CO2 / H2	5	myProd	1
Formiergas 5	Sim	N2 / H2	5	myProd	1
Lasal 1	Não	N2	5	myProd	1
Lasal 2001	Não	N2	5	myProd	1
Oxlgénio Aviação	Não	O2	6	myProd	1
Noxal 7	Sim	Ar / H2	10	myProd	1
Lasal 2003	Não	O2	10	myProd	1
3D Heat Mix 2,9% H2	Sim	Ar / H2	$O_2+H_2O < 10$	myProd	1

Tabela C.2: Tabela de classificação de produtos da AL (Parte 2/2).

Produtos	Mistura	Componentes	Conteúdo em H_2O (5bar) (ppm v/v)	Fonte	Controlo
Lasal 2	Não	CO2	20	myProd	2
Argon Industrial	Não	Ar	40	myProd	2
Arcal 12 Altop	Sim	Ar / CO2	40	myProd	2
Arcal Chrome	Sim	Ar / CO2	40	myProd	2
Arcal Force	Sim	Ar / CO2	40	myProd	2
Arcal Speed	Sim	Ar / CO2	40	myProd	2
Arcal 14 SMARTOP	Sim	Ar / CO2 / O2	40	myProd	2
Arcal 32 SMARTOP	Sim	Ar / He	40	myProd	2
Arcal 121 SMARTOP	Sim	Ar / He / CO2	40	myProd	2
Arcal 21 SMARTOP	Sim	Ar / CO2	40	myProd	2
Albee Weld Ar	Não	Ar	40	myProd	2
Albee Weld Armix	Sim	Ar / CO2	40	myProd	2
Arcal 15	Sim	Ar / H2	40	myProd	2
Arcal 11	Sim	Ar / He / H2	40	myProd	2
Noxal 3	Sim	Ar / H2	40	myProd	2
Hidrogénio	Não	H2	40	myProd	2
Arcal 37 SMARTOP	Sim	He / Ar	40	myProd	2
Azoto	Não	N2	40	myProd	2
Albee Cool N2	Não	N2	40	myProd	2
Aligal 6	Não	Ar	50	myProd	2
Aligal 62	Sim	Ar / CO2	50	myProd	2
Aligal 2	Não	CO2	50	myProd	2
Aligal 27	Sim	O2 / CO2	50	myProd	2
Aligal 3	Não	O2	50	myProd	2
Aligal 12	Sim	N2 / CO2	50	myProd	2
Aligal 13	Sim	N2 / CO2	50	myProd	2
Aligal 14	Sim	N2 / CO2	50	myProd	2
Aligal 15	Sim	N2 / CO2	50	myProd	2
Aligal 1	Não	N2	50	myProd	2
Phargalis 2	Não	CO2	67	myProd	2
Phargalis 3	Não	O2	67	myProd	2
Phargalis 1	Não	N2	67	myProd	2
Dióxido de Carbono	Não	CO2	200	myProd	3
Flamal O2	Não	O2	200	myProd	3
Oxigénio	Não	O2	200	myProd	3
Albee Flame O2	Não	O2	200	myProd	3
Ar Respirável	Sim	N2 / O2	500	myProd	3

D

Apêndice 4 Projeto da ponteira

secagem

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Figura D.1: Desenho esquemático para a conceção das ponteiras para o processo de secagem.

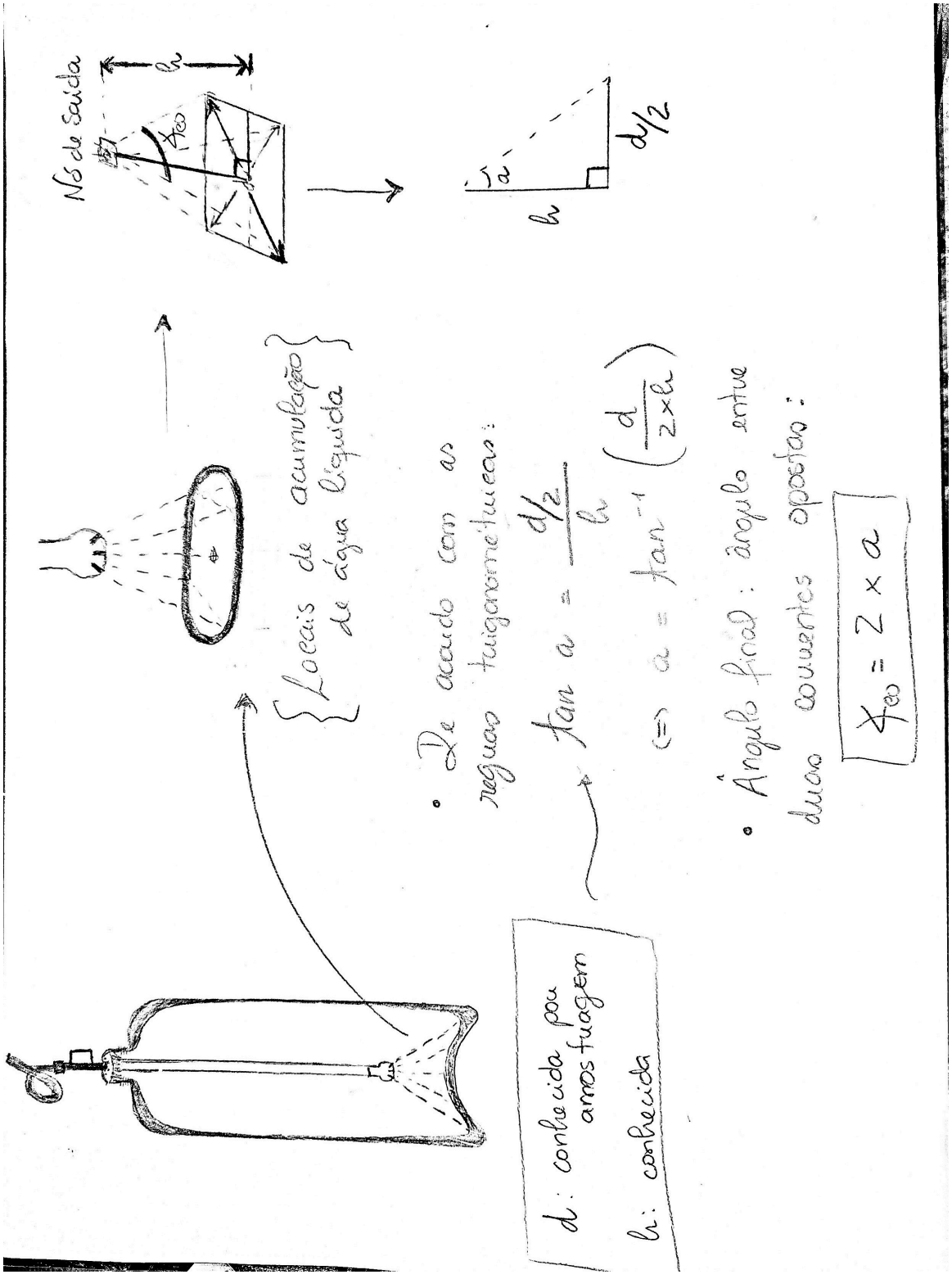


Tabela D.1: Medições que serviram de base para a altura interna das garrafas de gás.

	Garrafas B50		Garrafas B30		Garrafas B20		Garrafas B11 e B10		Garrafas B5; B2,5	
	Nº da Medição	Valor da medição	Nº da Medição	Valor da medição	Nº da Medição	Valor da medição	Nº da Medição	Valor da medição	Nº da Medição	Valor da medição
	1	18,75	1	17,50	1	17,50	1	13,00	1	12,75
	2	18,00	2	17,50	2	17,50	2	13,00	2	12,75
	3	19,00	3	17,50	3	17,50	3	13,00	3	12,75
	4	17,00	4	17,50	4	16,50	4	13,00	4	10,25
	5	17,25	5	17,50	5	16,50	5	13,00	5	10,25
	6	17,25	6	17,50	6	16,50	6	15,00	6	10,25
	7	18,00	7	17,50	7	15,30	7	15,00	7	10,25
	8	17,50	8	17,50	8	15,30	8	15,00	8	10,25
	9	17,25	9	17,50	9	15,30	9	15,00	9	10,25
	10	17,00	10	17,50	10	15,30	10	15,00	10	10,25
	11	17,50	11	17,50	11	15,30	11	14,25	11	10,25
	12	16,75	12	17,50	12	15,30	12	14,25	12	10,25
	13	18,00	13	17,50	13	15,30	13	14,25	13	10,25
	14	18,25	14	17,50	14	15,30	14	13,25	14	10,25
	15	19,00	15	17,50	15	15,50	15	13,25	15	10,25
	16	19,00	16	17,50	16	15,50	16	14,25	16	9,00
	17	17,00	17	17,50	17	15,50	17	14,25	17	9,00
	18	17,75	18	17,50	18	15,50	18	14,25	18	9,00
	19	17,75	19	17,50	19	15,50	19	14,25	19	9,00
	20	17,25	20	17,50	20	15,50	20	14,25	20	9,00
	21	17,75	21	17,50	21	15,50	21	14,25	21	9,00
	22	17,25	22	16,00	22	15,50	22	14,25	22	9,00
	23	17,50	23	16,00	23	16,00	23	14,25	23	9,00
	24	17,75	24	16,00	24	16,00	24	14,25	24	9,00
	25	17,50	25	16,00	25	16,00	25	14,25	25	9,00
	26	17,00	26	16,00	26	16,00	26	14,25	26	9,00
	27	17,50	27	16,00	27	16,00	27	14,25	27	9,00
	28	18,00	28	16,00	28	16,00	28	14,25	28	9,00
	29	17,75	29	16,00	29	16,00	29	14,25	29	9,00
	30	18,00	30	16,00	30	16,00	30	14,25	30	9,00
Médias		17,71		17,05		15,88		14,10		9,88
Desvio padrão		0,606		0,687		0,658		0,631		1,125

Tabela D.2: Resultados obtidos para os fatores do desenho esquemático.

	h (cm)	d/(2*h)	a em graus	ângulo final
~B50	13,2	0,671	38,43	76,9
~B20	11,3	0,703	40,26	80,5

Tabela D.3: Resultado para o comprimento das varetas do processo de secagem (sem contar com o comprimento da ponteira).

Novas Alturas para as varetas	
Garrafas B50	
Nº da Medição	**Valor da medição**
1	147,5
2	146,5
3	145,7
4	145,4
5	144,7
Média	145,96
Desvio padrão	0,962

Novas Alturas para as varetas	
Garrafas B20	
Nº da Medição	**Valor da medição**
1	64,0
2	63,4
Média	63,7
Desvio padrão	0,300

Figura D.2: Projeto para medições considerando a direção do fluxo de ar quente comprimido (Parte 1/3).

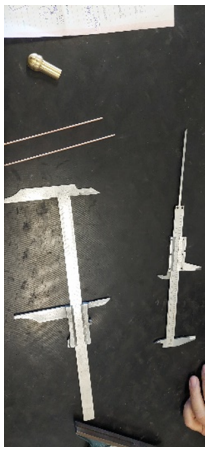
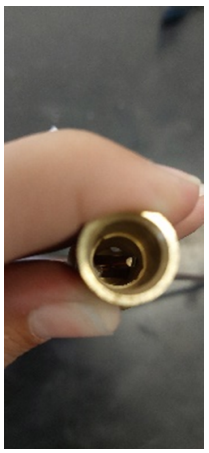


Figura D.3: Projeto para medições considerando a direção do fluxo de ar quente comprimido (Parte 2/3).

Figura D.4: Projeto para medições considerando a direção do fluxo de ar quente comprimido (Parte 3/3).



E

Apêndice 5 Ações de mitigação, contribuição para o risco e custo estimado

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.1: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 1/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Inspeção Interior da Garrafa antes desta seguir para o Teste de Pressão Hidráulica	1.1.1	Equipamento deve estar nas condições ótimas de funcionamento; Substituição do aparelho atual de inspeção (ver figura, no Anexo X), por um novo; Aquisição de um equipamento de inspeção com luz UV, para detar hidrocarbonetos no interior da garrafa (ao serviço do O2 ou suas misturas); Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva); Aquisição de um equipamento de inspeção de roscas de garrafas, principalmente para garrafas de liga de alumínio.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Médio
	1.1.2	Os procedimentos documentados devem ser impressos e colocados perto da zona onde a atividade se executa; A substituição dos procedimentos antigos pelos mais atuais é fundamental e qualquer alteração deve ser sensibilizada ao RP que é responsável pela sua realização.	12	2	2	1	4	67%	0.31%	Baixo
	1.1.3	Para casos extremos, proceder à limpeza da superfície interna da garrafa, recorrendo a uma técnica de lavagem apropriada; Se o processo de requalificação for o hydrotesting, um resíduo 'solto' pode sair facilmente no processo de inversão com saída a elevada velocidade da água.	16	2	2	1	4	75%	0.35%	Médio
	1.1.4	Equipamento deve estar nas condições ótimas de funcionamento; Substituição do aparelho atual de inspeção (ver figura, no anexo X), por um novo; É da responsabilidade do próprio operador, reportar as falhas por parte do equipamento de inspeção quando este não se encontra nas condições ótimas de funcionamento e compromete a atividade.	16	2	2	1	4	75%	0.35%	Médio
	1.1.5	Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva)	20	2	2	1	4	80%	0.38%	Baixo
	1.2.1	Expor a superfície interna da garrafa apenas durante a inspeção; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção; Para minimizar a exposição do interior da garrafa, a inspeção deve ocorrer dentro da cabine de remoção da válvula.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Nulo
	1.2.2	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção.	16	2	2	1	4	75%	0.35%	Nulo
	1.2.3	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Nulo
	1.2.4	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção; Efetuar manutenção dos filtros de retenção de detritos provenientes da escovagem das garrafas regularmente; Reparação das atuais cabines de escovagem, com a substituição das borrachas de vedação, de modo eliminar a saída de partículas para o exterior.	20	2	2	1	4	80%	0.38%	Moderado
	1.2.5	Para minimizar a exposição do interior da garrafa, a inspeção deve ocorrer dentro da cabine de remoção da válvula.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Nulo
	1.2.6	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Para gamas que exijam uma atenção especial quanto aos contaminantes, limpar as potenciais zonas com impurezas com um produto apropriado.	18	2	2	1	4	78%	0.37%	Baixo
	1.2.7	Verificação regular do estado de limpeza do cabo; Construção de um local de colocação do cabo, para que este não esteja exposto; Inclusão de procedimento de limpeza do cabo, com produto apropriado, para garrafas ao serviço de gamas que exigem uma atenção especial.	18	2	1	1	2	89%	0.42%	Moderado
Transporte da garrafa desde o local de inspeção até perto da cabine de prova	2.1.1	Se o processo de requalificação for o hydrotesting, não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa;Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	18	2	2	1	4	78%	0.37%	Moderado
	2.1.2		24	2	1	1	2	92%	0.43%	
	2.2.1	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	1	1	2	92%	0.43%	Moderado
	2.2.2		8	2	1	1	2	75%	0.35%	
	2.2.3		24	2	1	1	2	92%	0.43%	
	2.2.4		16	2	1	2	4	75%	0.35%	
	2.2.5	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa;Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	2.2.6	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	1	1	2	92%	0.43%	Moderado

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.2: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 2/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Repouso da garrafa antes de entrar na cabine de prova	3.1.1	Se o processo de requalificação for o hydrotesting, não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	18	2	1	1	2	89%	0.42%	Moderado
	3.1.2		16	2	1	1	2	88%	0.41%	
	3.2.1	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Moderado
	3.2.2	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial. Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	1	4	83%	0.39%	Moderado
	3.2.3		8	2	1	1	2	75%	0.35%	
	3.2.4		16	2	1	1	2	88%	0.41%	
	3.2.5		16	2	1	2	4	75%	0.35%	
	3.2.6	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	3.2.7	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; A corrosão pode ser agravada pela condensação, juntamente com o gás que pode estar contido nas paredes da garrafa (nas suas irregularidades); Se a garrafa for deixada de um dia para o outro proõe-se o seu isolamento com uma tampa de proteção; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	4	2	1	1	2	50%	0.24%	Moderado
Transporte da garrafa até à cabine de testing	4.1.1	Se o processo de requalificação for o hydrotesting, não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	18	2	1	1	2	89%	0.42%	Moderado
	4.1.2		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
	4.2.1	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	1	4	83%	0.39%	Moderado
	4.2.2		8	2	1	1	2	75%	0.35%	
	4.2.3		16	2	1	1	2	88%	0.41%	
	4.2.4		16	2	1	2	4	75%	0.35%	
	4.2.5	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	4.2.6	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	1	1	2	92%	0.43%	Moderado
	5.1.1	Aquisição de UPS para o CMD - razões (p.e. paragem vs arranque de máquinas, paragem da linha, etc) - Microfalhas e macrofalhas levam à danificação das placas eletrónicas dos sistemas.	5	5	1	1	5	0%	0.00%	Elevado
	5.1.2	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade	5	5	1	1	5	0%	0.00%	Nulo
	5.1.3		5	5	1	1	5	0%	0.00%	
	5.1.4		5	5	1	1	5	0%	0.00%	
	5.1.5		5	5	1	1	5	0%	0.00%	

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.3: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 3/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Testing : Teste de Pressão Hidráulico para testar se a garrafa tem consições para continuar ao serviço	**5.2.1**	Equipamento deve estar nas condições ótimas de funcionamento; Substituição do aparelho atual de inspeção (ver figura, no Anexo X), por um novo; Aquisição de um equipamento de inspeção com luz UV, para detar hidrocarbonetos no interior da garrafa (ao serviço do O2 ou suas misturas); Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva); Aquisição de um equipamento de inspeção de roscas de garrafas, principalmente para garrafas de liga de alumínio.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Médio
	5.2.2	Importante canalizar garrafas com maior longevidade para gamas de menor exigência na especificação, alguns produtos industriais; Para casos extremos, proceder à limpeza da superfície interna da garrafa, recorrendo a uma técnica de lavagem apropriada; Se o processo de requalificação for o hydrotesting, um resíduo 'solto' pode sair facilmente no processo de inversão com saída a elevada velocidade da água.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Médio
	5.2.3	Os cloretos e os sulfatos são potencialmente corrosivos para a superfície interna das garrafas, os sais livres (solúveis) propiciam a ocorrência de corrosão na superfície e os metais presentes na água também; é importante propor um sistema de canalização ou de retenção de partículas prejudiciais para a preservação do estado interno da garrafa.	16	2	1	2	4	75%	0.35%	Muito elevado
	5.3.1	A água é um dos principais potenciadores de corrosão; no entanto, ao minimizar o tempo de exposição da superfície interna da garrafa à água e ao recorrer a um sistema de filtração, diminui o potencial, bem como a limpeza prévia das paredes internas, que diminui a área superficial disponível para a adsorção, e consequente inclusão de partículas de água nas paredes.	16	4	1	1	4	75%	0.35%	Muito elevado
	5.3.2		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
	5.3.3		20	5	1	1	5	75%	0.35%	
	5.4.1	Propõe-se um estudo ao impacto do hydrotesting no material constituinte das garrafas.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Médio
	5.5.1	Os cloretos e os sulfatos são potencialmente corrosivos para a superfície interna das garrafas, os sais livres (solúveis) propiciam a ocorrência de corrosão na superfície e os metais presentes na água também; é importante propor um sistema de canalização ou de retenção de partículas prejudiciais para a preservação do estado interno da garrafa.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Muito elevado
	5.5.2		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
Gravação da Garrafa com a data de prova	**6.1.1**	Apesar da gravação pneumática ser viável para o contexto em que o testing se insere, uma gravação automática seria mais eficiente a nível produtivo. A ponteira usada deve ser adequada para que não haja fragilização do material que constitui a garrafa.	4	2	1	1	2	50%	0.24%	Elevado
	6.1.2	Os cloretos e os sulfatos são potencialmente corrosivos para a superfície interna das garrafas, os sais livres (solúveis) propiciam a ocorrência de corrosão na superfície e os metais presentes na água também; é importante propor um sistema de canalização ou de retenção de partículas prejudiciais para a preservação do estado interno da garrafa.	20	2	2	1	4	80%	0.38%	Muito elevado
	6.3.1		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
	6.3.2		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	**7.1.1**	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A minimização do tempo entre o hydrotesting e o processo de secagem é crucial para minimizar a exposição da garrafa à água da rede e potenciais fenómenos de adsorção e corrosão da superfície interna; Um sistema de filtração da água previne a corrosão igualmente; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	2	1	6	75%	0.35%	Moderado
	7.1.2		24	4	1	1	4	83%	0.39%	
	7.2.1		18	2	2	1	4	78%	0.37%	
	7.2.2		4	2	1	1	2	50%	0.24%	
	7.2.3		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
	7.2.4		12	2	1	2	4	67%	0.31%	
	7.2.5	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	18	2	2	2	8	56%	0.26%	Moderado
	7.2.6	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A minimização do tempo entre o hydrotesting e o processo de secagem é crucial para minimizar a exposição da garrafa à água da rede e potenciais fenómenos de adsorção e corrosão da superfície interna; Um sistema de filtração da água previne a corrosão igualmente; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	18	2	1	1	2	89%	0.42%	Moderado
Repouso da	**8.1.1**	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A minimização do tempo entre o hydrotesting e o processo de secagem é crucial para minimizar a exposição da garrafa à água da rede e potenciais fenómenos de adsorção e corrosão da superfície interna; Um sistema de filtração da água previne a corrosão igualmente; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	2	1	6	75%	0.35%	Moderado
	8.1.2		24	4	1	1	4	83%	0.39%	
	8.2.1		16	2	1	2	4	75%	0.35%	
	8.2.2		18	2	2	1	4	78%	0.37%	
	8.2.3		4	2	1	1	2	50%	0.24%	
	8.2.4		16	2	1	1	2	88%	0.41%	
	8.2.5		12	2	1	2	4	67%	0.31%	

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.4: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 4/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
garrafa antes de entrar no processo de secagem	8.2.6	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	8.3.1	É de risco extremo para a corrosão deixar uma garrafa com água do hydrotesting de um dia para o outro. Se a garrafa estiver isolada do exterior, a corrosão ocorre a uma taxa menor do que se estiver exposta no entanto é de evitar que ambas as situações ocorram.	4	2	1	1	2	50%	0.24%	Moderado
Transporte da garrafa desde a cabine de testing até ao local de secagem	9.1.1	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A minimização do tempo entre o hydrotesting e o processo de secagem é crucial para minimizar a exposição da garrafa à água da rede e potenciais fenómenos de adsorção e corrosão da superfície interna; Um sistema de filtração da água previne a corrosão igualmente; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	2	1	6	75%	0.35%	Moderado
	9.1.2		24	4	1	1	4	83%	0.39%	
	9.2.1		18	2	2	1	4	78%	0.37%	
	9.2.2		4	2	1	1	2	50%	0.24%	
	9.2.3		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
	9.2.4		12	2	1	2	4	67%	0.31%	
	9.2.5	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	9.2.6	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; A minimização do tempo entre o hydrotesting e o processo de secagem é crucial para minimizar a exposição da garrafa à água da rede e potenciais fenómenos de adsorção e corrosão da superfície interna; Um sistema de filtração da água previne a corrosão igualmente; A aquisição de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão devido à exposição ao oxigénio atmosférico; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	1	1	2	92%	0.43%	Moderado
Processo de Secagem da água retida devido ao Teste de Pressão	10.1.1	Otimização da dinâmica ocorrida no processo de secagem através do nivelamento das varetas e consequente criação de varetas adequadas ao tamanho da garrafa a secar com engate rápido para facilitada mudança e com ponteira que permite uma dinâmica de convecção forçada.	20	5	1	1	5	75%	0.35%	Médio
	10.1.2	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade	5	5	1	1	5	0%	0.00%	Nulo
	10.1.3	Substituição da tubagem que antecede o processo de secagem, uma vez que se verificou um modo de falha numa das posições de secagem de garrafas: supressão do caudal de ar quente comprimido.	20	5	1	1	5	75%	0.35%	Moderado
	10.1.4	Otimização da dinâmica ocorrida no processo de secagem através do nivelamento das varetas e consequente criação de varetas adequadas ao tamanho da garrafa a secar com engate rápido para facilitada mudança e com ponteira que permite uma dinâmica de convecção forçada.	75	5	1	1	5	93%	0.44%	Médio
	10.1.5		60	5	1	1	5	92%	0.43%	
	10.1.6		60	5	1	1	5	92%	0.43%	
	10.2.1	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade	5	5	1	1	5	0%	0.00%	Nulo
	10.2.2		5	5	1	1	5	0%	0.00%	
	10.2.3		5	5	1	1	5	0%	0.00%	
	10.2.4		5	5	1	1	5	0%	0.00%	
	10.2.5	Propõe-se o isolamento da tubagem que procede o processo de aquecimento do ar comprimido, anterior ao processo de secagem para melhorar a transferencia de calor que ocorre no inetrior das garrafas que estão a ser secas, bem como minimizar as perdas de energia para o meio envolvente, desnecessáriamente.	75	5	1	1	5	93%	0.44%	Médio
	10.2.6	Substituição das mangueiras que canalizam o ar ao processo de secagem, uma vez que se verificou um modo de falha: sestas mangueiras são indicadas para a soldadura com acetileno e estão fora da data de validade. No Anexo X, apresenta-se um exemplo de uma das mangueiras e a documentação que lhe diz respeito.	60	4	1	1	4	93%	0.44%	Moderado
	10.3.1	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade	8	4	1	1	4	50%	0.24%	Nulo
	10.3.2	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade do sistema de compressão e dos filtos de retenção de água e impurezas que procedem o mesmo. Controlo da qualidade regularmente efetuado ao ar comprimido.	12	4	1	1	4	67%	0.31%	Nulo
	10.3.3	A limpeza das paredes internas da garrafa previne que esta situação ocorra.	18	2	1	1	2	89%	0.42%	Médio
	10.3.4	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade do sistema de compressão e dos filtos de retenção de água e impurezas que procedem o	4	2	1	1	2	50%	0.24%	
	10.3.5		4	2	1	1	2	50%	0.24%	
	10.3.6		4	2	1	1	2	50%	0.24%	

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.5: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 5/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Hidráulico	10.3.7	mesmo. Controlo da qualidade regularmente efetuado ao ar comprimido.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Nulo
	10.3.8	Se o caudal do ar quente da secagem for suficientemente elevado, a posibilidade de entrada de contaminantes durante o processo de secagem é mínima, no entanto, as etapas que procedem a secagem devem garantir a conservação do estado final da garrafa após a secagem, a garrafa deve ser imediatamente isolada. Se a secagem se der num circuito fechado, o controlo é mais rigoroso.	6	2	1	1	2	67%	0.31%	
	10.3.9	A limpeza das paredes internas da garrafa previne que esta situação ocorra.	18	3	1	1	3	83%	0.39%	Médio
	10.3.10	Verificação regular do estado de limpeza do cabo; Construção de um local de colocação das varetas, para que estas não esteja expostas às condições do CMD; Inclusão de procedimento de limpeza das varetas, com produto apropriado, para garrafas ao serviço de gamas que exigem uma atenção especial.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Moderado
	10.4.1	Estudo teórico às temperaturas, pressões e tempos ótimos de secagem. Foi realizado um modelo que prevê o tempo ótimo de secagem com determinadas condições assumidas, no entanto, por falta de informações relativamente às condições impostas no processo de secagem, este não foi considerado neste projeto.	12	3	1	1	3	75%	0.35%	Nulo
	10.5.1		16	4	1	1	4	75%	0.35%	
	10.6.1		20	5	1	1	5	75%	0.35%	
	10.6.2		60	5	1	2	10	83%	0.39%	
	10.6.3		60	5	1	2	10	83%	0.39%	
	10.6.4		60	5	1	2	10	83%	0.39%	
	10.6.5	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade do sistema de compressão e dos filtos de retenção de água e impurezas que procedem o mesmo. Controlo da qualidade regularmente efetuado ao ar comprimido.	20	5	1	1	5	75%	0.35%	Nulo
	10.7.1	Alternativa à inspeção com a luz de fibra ótica ou um equipamento substituto perante incidentes ocorridos	10	5	1	1	5	50%	0.24%	Médio
	10.7.2	Aquisição de um equipamento de inspeção visual digital, com sonda e um sistema de visualização digital incorporado; Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva);	32	4	2	1	8	75%	0.35%	Elevado
	10.7.3	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	16	2	2	1	4	75%	0.35%	Baixo
Inspeção Interior da Garrafa após o processo de secagem	11.1.1	Equipamento deve estar nas condições ótimas de funcionamento; Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva); Aquisição de um equipamento de inspeção visual digital, com sonda e um sistema de visualização digital incorporado; Aquisição de um equipamento de inspeção de roscas de garrafas, principalmente para garrafas de liga de alumínio; Verificação do estado da rosca através de um medidor de rosca; Elaboração de um documento com os casos de corrosão mais agravados como nível de rejeição e chumbo da garrafa na inspeção visual peiódica. Este documento deve conter imagens dos níveis de rejeição que sirvam de ponto de comparação.	12	3	2	1	6	50%	0.24%	Elevado
	11.1.2	Os procedimentos documentados devem ser impressos e colocados perto da zona onde a atividade se executa; Elaboração de um documento com os casos de corrosão mais agravados como nível de rejeição e chumbo da garrafa na inspeção visual peiódica. Este documento deve conter imagens dos níveis de rejeição que sirvam de ponto de comparação; A substituição dos procedimentos antigos pelos mais atuais é fundamental e qualquer alteração deve ser sensibilizada ao RP que é responsável pela sua realização.	20	5	2	1	10	50%	0.24%	Baixo
	11.1.3	Para casos extremos, proceder à repetição do processo de limpeza com produtos apropriados; Elaboração de um documento com os casos de corrosão mais agravados como nível de rejeição e chumbo da garrafa na inspeção visual peiódica. Este documento deve conter imagens dos níveis de rejeição que sirvam de ponto de comparação; Se o processo de requalificação for o hydrotesting, um resíduo 'solto' pode sair facilmente no processo de inversão com saída a elevada velocidade da água.	24	2	1	1	2	92%	0.43%	Médio
	11.1.4	Equipamento deve estar nas condições ótimas de funcionamento; Substituição do aparelho atual de inspeção (ver figura, no anexo X), por um novo; É da responsabilidade do próprio operador, reportar as falhas por parte do equipamento de inspeção quando este não se encontra nas condições ótimas de funcionamento e compromete a atividade.	20	5	1	1	5	75%	0.35%	Médio
	11.1.5	Aquisição de um equipamento de inspeção visual digital, com sonda e um sistema de visualização digital incorporado; Aquisição de um espelho de inspeção das zonas de difícil acesso (parte interna da ogiva).	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Elevado
	11.2.1	Expor a superfície interna da garrafa apenas durante a inspeção; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção; Para minimizar a exposição do interior da garrafa, a inspeção deve ocorrer dentro da cabine de remoção da válvula.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Nulo

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.6: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 6/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
	11.2.2	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção; Propõe-se a alteração do local de inspeção para uma zona mais abrigada e não suscetível às correntes de ar convectivas naturais geradas perto da porta de saída; Esta inspeção pode ser feita do lado oposto, mais perto do banco de prova e com menor exposição.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
	11.2.3	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial no momento da inspeção; Propõe-se a alteração do local de inspeção para uma zona mais abrigada e não suscetível às correntes de ar convectivas naturais geradas perto da porta de saída; Esta inspeção pode ser feita do lado oposto, mais perto do banco de prova e com menor exposição.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Nulo
	11.2.4		24	2	2	1	4	83%	0.39%	
	11.2.5		24	2	2	1	4	83%	0.39%	
	11.2.6	Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Para gamas que exijam uma atenção especial quanto aos contaminantes, limpar as potenciais zonas com impurezas com um produto apropriado.	18	2	2	1	4	78%	0.37%	Moderado
	11.2.7	Verificação regular do estado de limpeza do cabo; Construção de um local de colocação do cabo, para que este não esteja exposto, exemplo no Anexo X; Inclusão de procedimento de limpeza do cabo, com produto apropriado, para garrafas ao serviço de gamas que exigem uma atenção especial; Propõe-se a alteração do local de inspeção para uma zona mais abrigada e não suscetível às correntes de ar convectivas naturais geradas perto da porta de saída; Esta inspeção pode ser feita do lado oposto, mais perto do banco de prova e com menor exposição.	24	2	1	2	4	83%	0.39%	Moderado
Transporte da garrafa desde o local de secagem até perto da cadeia aérea automática	12.1.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula; A colocação de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Através do estudo ao impacto da atmosfera envolvente no interior da garrafa, concliu-se que para gamas que detém especificações abaixo dos 10 ppm são potencialmente impactadas por efeitos de humidade. Adicionalmente, os meses de inverno permitem a condensação nas paredesda garrafa agravam este efeito. Isto dá origem a permissão dos efeitos corrosivos e um produto não conforme; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	36	4	1	1	4	89%	0.42%	Moderado
	12.1.2		24	3	1	2	6	75%	0.35%	
	12.2.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial.	18	2	2	1	4	78%	0.37%	Moderado
	12.2.2		18	2	1	1	2	89%	0.42%	
	12.2.3		18	2	1	1	2	89%	0.42%	
	12.2.4		18	2	1	2	4	78%	0.37%	
	12.2.5	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção..	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	12.2.6	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	1	1	3	88%	0.41%	Moderado
	13.1.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e	36	4	1	1	4	89%	0.42%	Moderado
	13.1.2		18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	13.2.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial;Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	16	2	1	2	4	75%	0.35%	Moderado
	13.2.2	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e	16	2	2	1	4	75%	0.35%	

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.7: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 7/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Repouso da garrafa antes de entrar na cadeia aérea automática	13.2.3	até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	18	2	1	1	2	89%	0.42%	Moderado
	13.2.4		12	2	1	1	2	83%	0.39%	
	13.2.5		18	2	1	2	4	78%	0.37%	
	13.2.6	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula; Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	13.3.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; A corrosão pode ser agravada pela condensação, juntamente com o gás que pode estar contido nas paredes da garrafa (nas suas irregularidades); Se a garrafa for deixada de um dia para o outro proõe-se o seu isolamento com uma tampa de proteção; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	20	5	1	1	5	75%	0.35%	Moderado
Colocação do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia aérea automática	14.1.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Garantir uma inspeção correta das garrafas é um dos pontos mais importantes da requalificação, para tal utensílios que auxiliem o seu rigor técnicosão aconselhados, nomeadamente: medidor de rosca, inspeção da rosca, avaliação dos estados de limpeza e corrosão da garrafa; espelho de inspeção, ou borescópio (opcional).	6	3	1	1	3	50%	0.24%	Moderado
	14.2.1	Desinfeção do perne/mecanismo de transporte de forma regular e com produto apropriado.	24	2	1	1	2	92%	0.43%	Moderado
	14.2.2	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Moderado
	14.2.3	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Colocação da garrafa na cadeia aérea automática	15.1.1	Ações de formação e de sensibilização aos RPs; Perceber se este mecanismo isola bem o interior da garrafa.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
	15.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à granalhadora	16.1.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	16.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	17.1.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia	4	2	1	1	2	50%	0.24%	Baixo
	17.2.1	Melhoramento na visibilidade das garrafas e identificação destes defeitos que podem gerar fragilidades na garrafa tais como corrosão; Outra opção para poder identificar melhor defeitos tais como machine vision ou ultrassons; Eventual mudança do ciclo de manutenção - o ideal seria poder identificar estes defeitos logo a seguir à decapagem para não haver gastos de tinta nem ocupação de um lugar na cadeia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.8: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 8/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Transporte da garrafa pela cadeia aérea automática até à pintura do corpo	**18.1.1**	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	18.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Pintura do corpo da garrafa	**19.1.1**	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	19.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	**20.1.1**	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	20.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Processo de cura de tinta no forno	**21.1.1**	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Garantir uma inspeção correta das garrafas é um dos pontos mais importantes da requalificação, para tal utensílios que auxiliem o seu rigor técnicosão aconselhados, nomeadamente: medidor de rosca, inspeção da rosca, avaliação dos estados de limpeza e corrosão da garrafa; espelho de inspeção, ou borescópio (opcional).	4	2	1	1	2	50%	0.24%	Baixo
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura até ao forno	**22.1.1**	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	22.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	**23.1.1**	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia	18	3	1	1	3	83%	0.39%	Baixo
	23.2.1		24	4	1	1	4	83%	0.39%	Baixo
	23.3.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Garantir uma inspeção correta das garrafas é um dos pontos mais importantes da requalificação, para tal utensílios que auxiliem o seu rigor técnicosão aconselhados, nomeadamente: medidor de rosca, inspeção da rosca, avaliação dos estados de limpeza e corrosão da garrafa; espelho de inspeção, ou borescópio (opcional).	12	3	1	1	3	75%	0.35%	Baixo
	23.4.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia	16	4	1	1	4	75%	0.35%	Baixo
	23.4.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	16	4	2	1	8	50%	0.24%	Baixo
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde	**24.1.1**	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.9: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 9/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
pintura desde o forno até à pintura de ogiva	24.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
Pintura da ogiva da garrafa	25.1.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
	25.2.1		8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	25.3.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	25.4.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Garantir uma inspeção correta das garrafas é um dos pontos mais importantes da requalificação, para tal utensílios que auxiliem o seu rigor técnicosão aconselhados, nomeadamente: medidor de rosca, inspeção da rosca, avaliação dos estados de limpeza e corrosão da garrafa; espelho de inspeção, ou boroscópio (opcional).	18	3	2	1	6	67%	0.31%	Baixo
	25.5.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	12	2	1	1	2	83%	0.39%	Baixo
	25.5.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de vestígios de granalha	26.1.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	26.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	2	1	4	50%	0.24%	Baixo
	26.2.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de transporte na cadeia aérea automática; Rotação das garrafas deve ser feita no sentido horário para que o perne não desenrosque e a garrafa não caia.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
Remoção de vestígios de granalha com	27.1.1	Conferir um correto isolamento da garrafa, eventualmente através de um	24	2	2	1	4	83%	0.39%	Baixo
	27.1.2	sistema de isolamento hermetico com um utensílio de ajuste do perne de	24	3	2	1	6	75%	0.35%	Baixo
	27.2.1	transporte na cadeia aérea automática;	24	2	2	1	4	83%	0.39%	Baixo
Transporte da garrafa pela cadeia de pintura desde a pintura de ogiva até à remoção de	27.1.1	Perceber se este mecanismo isola bem o interior da garrafa	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo
	27.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	4	2	1	1	2	50%	0.24%	Baixo
	27.2.1	Perceber se este mecanismo isola bem o interior da garrafa	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	28.1.1	Perceber se este mecanismo isola bem o interior da garrafa	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
	28.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
	29.1.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a	36	4	1	1	4	89%	0.42%	Moderado
	29.1.2	partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e	24	3	2	2	12	50%	0.24%	
	29.2.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a	18	3	1	1	3	83%	0.39%	Moderado
	29.2.2	partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e	18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	29.2.3	até ao momento da montagem da válvula.	18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	29.2.4	Sensibilizar os RPs para uma atenção especial.	18	3	1	2	6	67%	0.31%	

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.10: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 10/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até perto do local de colocação da válvula	29.2.5	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	29.2.6	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial. Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	1	1	3	88%	0.41%	Moderado
Repouso da garrafa antes de colocar a válvula	30.1.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. A colocação de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Através do estudo ao impacto da atmosfera envolvente no interior da garrafa, concliu-se que para gamas que detém especificações abaixo dos 10 ppm são potencialmente impactadas por efeitos de humidade. Adicionalmente, os meses de inverno permitem a condensação nas paredesda garrafa agravam este efeito. Isto dá origem a permissão dos efeitos corrosivos e um produto não conforme; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	36	4	1	1	4	89%	0.42%	Moderado
	30.1.2		18	3	1	2	6	67%	0.31%	Moderado
	30.2.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial. Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	1	1	3	88%	0.41%	Moderado
	30.2.2	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial.	24	3	2	1	6	75%	0.35%	Moderado
	30.2.3		18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	30.2.4		18	3	1	2	6	67%	0.31%	
	30.2.5		18	3	1	2	6	67%	0.31%	
	30.2.6	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	1	4	83%	0.39%	Moderado
	31.1.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; A corrosão pode ser agravada pela condensação, juntamente com o gás que pode estar contido nas paredes da garrafa (nas suas irregularidades); Se a garrafa for deixada de um dia para o outro proõe-se o seu isolamento com uma tampa de proteção; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	36	4	1	1	4	89%	0.42%	Moderado
	31.1.2		24	3	1	2	6	75%	0.35%	
	31.2.1	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial.	18	3	2	1	6	67%	0.31%	Moderado
	31.2.2		18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	31.2.3		18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	31.2.4		18	3	1	2	6	67%	0.31%	

Humidade contida no interior de uma garrafa de gás

Tabela E.11: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 11/11).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€
Transporte da garrafa até ao local de colocação da válvula	**31.2.5**	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Mudança das luvas de trabalho com uma cadência adequada à atividade; Sensibilizar os RPs para uma atenção especial. Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	2	2	2	8	67%	0.31%	Moderado
	31.2.6	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula. Sensibilizar os RPs para uma atenção especial; Para gamas industriais não é crítico. No entanto, a aquisição de tampas de proteção sa superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa;Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	3	1	1	3	88%	0.41%	Moderado
Montagem de válvula	**32.1.1**	A preservação do estado final de secagem do interior da garrafa é um objetivo a partir do momento em que a garrafa se encontra exposta a fatores adversos e até ao momento da montagem da válvula; A colocação de tampas de proteção da superfície interna da garrafa é importante para evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão pela inclusão de humidade nas paredes da garrafa; Através do estudo ao impacto da atmosfera envolvente no interior da garrafa, concliu-se que para gamas que detém especificações abaixo dos 10 ppm são potencialmente impactadas por efeitos de humidade. Adicionalmente, os meses de inverno permitem a condensação nas paredesda garrafa agravam este efeito. Isto dá origem a permissão dos efeitos corrosivos e um produto não conforme; Para gamas que exijam uma atenção especial, é fundamental o isolamento da garrafa em qualquer ponto do circuito de manutenção.	24	4	1	1	4	83%	0.39%	Moderado
	32.2.1		18	3	1	1	3	83%	0.39%	
	32.2.2	Todas as garrafas devem passar pelo binário de aperto; A válvula deve ser verificada mesmo assim, se se encontra bem colocada; É importante que a rosca não esteja corroída, garantido pela inspeção à rosca no momento da inspeção; A limpeza da válvula é um fator importante para a montagem e para a conformidade do produto de alta qualidade.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo
	32.2.3	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	8	2	1	1	2	75%	0.35%	Baixo

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.12: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 1/18).

A = Antigo; N = Novo; ΔR = percentagem de redução do risco; ΔG = percentagem de redução do risco global; € = Custo Estimado; EQ = escala quantitativa atribuída												
Etapa	**ID**	**Ação de Mitigação**	**RPN (A)**	**S (N)**	**O (N)**	**D (N)**	**RPN (N)**	**ΔR**	**ΔG**	**€**	EQ
Escovagem exterior da garrafa (apenas a superfície da ogiva para garrafas de aço)	**1.1.1**	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade; Escova da máquina de escovagem deve ser adequada ao tratamento de superfície de garrafas de aço e de garrafas de liga de alumínio.	8	2	2	1	4	50%	0.56%	Baixo	20
	1.1.2	A escova da posição superior, deve ser adequada para poder cehgar às zonas de difícil acesso e remover de forma eficaz os resíduos antigos	8	2	2	1	4	50%	0.56%	Moderado	40
	1.1.3	Recorrer a utensílios de remoção dos resíduos, desde que estes não comprometam a integridade da garrafa; Eventual recorrência a produtos de limpeza aprovados para o efeito.	6	2	1	1	2	67%	0.74%	Moderado	40
Decapagem da pintura antiga na Granalhadora	**2.1.1**	Mudança do processo de decapagem para um local com fácil acesso e determinação do estado da decapagem. Após identificar falhas na decapagem, o RP poderia retirar a garrafa para, por exemplo a escovar nos locais de difícil remoção de resíduos antigos.	6	3	1	1	3	50%	0.56%	Elevado	80
	2.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade; O RP deve repor a granalha no sistema de recolha de partículas de forma regular; Propõe-se a elaboração de um plano de manutenção para a recolha de partículas do depósito de retenção ou ligação direta entre o mesmo e o contentor; Limpeza do sistema de recirculação da granalha, uma vez que o sistema é arcaico.	12	3	2	1	6	50%	0.56%	Baixo	20
	2.1.3	Mudança do processo de decapagem para um local com fácil acesso e determinação do estado da decapagem. Após identificar falhas na decapagem, o RP poderia retirar a garrafa para, por exemplo a escovar nos locais de difícil remoção de resíduos antigos.	18	3	1	1	3	83%	0.93%	Elevado	80
	2.1.4		6	3	1	1	3	50%	0.56%		80
	2.1.5		18	3	1	1	3	83%	0.93%		80
	2.1.6	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade; O RP deve repor a granalha no sistema de recolha de partículas de forma regular; Propõe-se a elaboração de um plano de manutenção para a recolha de partículas do depósito de retenção ou ligação direta entre o mesmo e o contentor; Limpeza do sistema de recirculação da granalha, uma vez que o sistema é arcaico.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Baixo	20
	2.2.1	Garantir o perfeito alinhamento dos planos de manutenção com a empresa que presta suporte de manutenção, a AJF.	2	1	1	1	1	50%	0.56%	Nulo	0
	2.3.1		6	1	1	1	1	83%	0.93%		0
	2.4.1		1	1	1	1	1	0%	0.00%		0

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.13: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 2/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	2.5.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade; O RP deve repor a granalha no sistema de recolha de partículas de forma regular; Propõe-se a elaboração de um plano de manutenção para a recolha de partículas do depósito de retenção ou ligação direta entre o mesmo e o contentor; Limpeza do sistema de recirculação da granalha, uma vez que o sistema é arcaico.	12	3	2	1	6	50%	0.56%	Baixo	20
	2.5.2	Garantir o perfeito alinhamento dos planos de manutenção com a empresa que presta suporte de manutenção, a AJF.	3	3	1	1	3	0%	0.00%	Nulo	0
Pintura do corpo da garrafa	3.1.1	Garantir o perfeito alinhamento dos planos de manutenção com a empresa que presta suporte de manutenção, a AJF.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Nulo	0
	3.1.2	A superfície deve estar numa condição de preparação, subjugada pelo tratamento de superfície fornecido pela escovagem e pela decapagem; Superfícies mal tratadas devem ser novamente manutencionadas para evitar o gasto desnecessário de recursos e a eventual recolocação da garrafa na cadeia aérea automática	4	2	1	1	2	50%	0.56%	Baixo	20
	3.1.3	Plano de manutenção regular do sistema de projeção de pó, uma vez que este pode acumular partículas, efeito provocado pela humidade, por exemplo.	4	2	1	1	2	50%	0.56%	Moderado	40
	3.2.1	Aumento da altura da banda da cabine da pintura de corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	60	4	2	2	16	73%	0.81%	Moderado	40
	3.2.2	Garantir o perfeito alinhamento dos planos de manutenção com a empresa que presta suporte de manutenção, a AJF.	8	4	1	1	4	50%	0.56%	Nulo	0
	4.1.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	2	2	1	1	2	0%	0.00%	Baixo	20
	4.1.2	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade.	4	2	1	1	2	50%	0.56%	Nulo	0

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.14: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 3/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
Processo de cura da tinta do corpo no forno	4.1.3	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade; Propõe-se a substituição do sistema, uma vez que a cura decorre de um processo moroso e arcaico de queima indireta; Os procedimentos relativos à aplicação da tinta cedidos pelas fichas que acompanham a tinta ou pelo seu fornecedor devem ser seguidos com rigor técnico.	12	2	1	1	2	83%	0.93%	Nulo	0
	4.1.4		4	2	1	1	2	50%	0.56%		0
	4.2.1	Garantir o perfeito alinhamento dos planos de manutenção com a empresa que presta suporte de manutenção, a AJF.	4	2	1	1	2	50%	0.56%	Nulo	0
	4.2.2	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade; Propõe-se a substituição do sistema, uma vez que a cura decorre de um processo moroso e arcaico de queima indireta; Os procedimentos relativos à aplicação da tinta cedidos pelas fichas que acompanham a tinta ou pelo seu fornecedor devem ser seguidos com rigor técnico.	4	2	1	1	2	50%	0.56%	Nulo	0
	4.3.1		30	2	2	1	4	87%	0.96%		0
Arrefecimento da parte superior e exterior da garrafa com ventiladores	5.1.1	Propõe-se a supressão do sistema de arrefecimento que é arcaico e pouco eficiente para a necessidade de arrefecimento. Após um estudo às temperaturas ótimas de aplicação, é possível comprovar a viabilidade da mudança da zona dedicada ao processo de pintura da ogiva para um local mais distante do forno (local de sopragem da granalha) e não afetado pelo calor fornecido pelo mesmo, assim a superfície da garrafa tem tempo de arrefecer até às condições ótimas de aplicação; Ressalvar a necessidade de resguardar a superfície da garrafa através da um toldo (por exemplo) até que o processo de pintura da ogiva se realize.	18	3	1	1	3	83%	0.93%	Nulo	0
	5.1.2		18	3	1	1	3	83%	0.93%		0
	5.1.3		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
	5.1.4		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
	5.1.5		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
	5.2.1		24	3	1	1	3	88%	0.97%		0
	5.2.2		18	3	1	1	3	83%	0.93%		0
	5.2.3		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
	5.2.4		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
Transporte desde o local de arrefecimento até pintura da ogiva	6.1.1		24	3	1	1	3	88%	0.97%		0
	6.1.2		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
	6.1.3		30	3	1	1	3	90%	1.00%		0
	6.2.1	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade.	16	4	1	1	4	75%	0.83%	Nulo	0

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.15: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 4/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	7.1.1	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H);	16	4	1	1	4	75%	0.83%	Elevado	80
	7.1.2	Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	15	5	1	1	5	67%	0.74%		80
	7.1.3	Aumento da altura da banda da cabine da pintura de corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	24	4	1	2	8	67%	0.74%	Moderado	40
	7.1.4	Garantir o perfeito alinhamento dos planos de manutenção com a empresa que presta suporte de manutenção, a AJF.	5	5	1	1	5	0%	0.00%	Nulo	0

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.16: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 5/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	7.1.5	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	40	5	2	1	10	75%	0.83%	Elevado	80

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.17: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 6/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	∆R	∆G	€	EQ
	7.1.6	Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da tubagem de passagem da tinta; Inclusão da lavagem regular da tubagem com passagem de uma corrente de água logo após a sua paragem para evitar a secagem da tinta no interior da tubagem e eventual acumulação de partículas de tinta ou obstrução no procedimento de pintura da ogiva; Substituição da tubagem quando de encontre enetual acumulação da tinta no seu interior por incumprimento de procedimentos; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	10	5	1	1	5	50%	0.56%	Moderado	40
	7.2.1	Apesar da tinta vir preparada, deve ser inicialmente homogenizada com o sistema de agitação cedido pela pá de agitação; Por outro lado, deve ser feita uma lavagem da tubagem do circuito para poder garantir que a tinta aplicada está conforme e homogeneizada; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	6	3	1	1	3	50%	0.56%	Moderado	40
	7.2.2		9	3	1	1	3	67%	0.74%		40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.18: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 7/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
Pintura da ogiva da garrafa	7.2.3	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	24	3	1	1	3	88%	0.97%	Elevado	80
	7.3.1	Apesar da tinta vir preparada, deve ser inicialmente homogenizada com o sistema de agitação cedido pela pá de agitação; Por outro lado, deve ser feita uma lavagem da tubagem do circuito para poder garantir que a tinta aplicada está conforme e homogeneizada; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	10	5	1	1	5	50%	0.56%	Moderado	40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.19: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 8/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	7.3.2	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Elevado	80
	7.3.3	Aumento da altura da banda da cabine da pintura de corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	40	4	2	2	16	60%	0.67%	Moderado	40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.20: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 9/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	7.3.4	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	40	5	2	1	10	75%	0.83%	Elevado	80
	7.4.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	5	5	1	1	5	0%	0.00%	Baixo	20

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.21: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 10/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	7.5.1	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	16	4	1	1	4	75%	0.83%	Elevado	80
	8.1.1	Apesar da tinta vir preparada, deve ser inicialmente homogenizada com o sistema de agitação cedido pela pá de agitação; Por outro lado, deve ser feita uma lavagem da tubagem do circuito para poder garantir que a tinta aplicada está conforme e homogeneizada; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	6	3	1	1	3	50%	0.56%	Moderado	40
	8.1.2		9	3	1	1	3	67%	0.74%		40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.22: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 11/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	8.1.3	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Moderado	40
	8.2.1	Apesar da tinta vir preparada, deve ser inicialmente homogenizada com o sistema de agitação cedido pela pá de agitação; Por outro lado, deve ser feita uma lavagem da tubagem do circuito para poder garantir que a tinta aplicada está conforme e homogeneizada; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	10	5	1	1	5	50%	0.56%	Moderado	40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.23: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 12/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
Transporte desde a pintura de ogiva até à remoção da garrafa da linha	8.2.2	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Moderado	40
	8.2.3	Aumento da altura da banda da cabine da pintura de corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	40	4	2	2	16	60%	0.67%	Moderado	40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.24: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 13/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	8.2.4	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local de cura da tinta até ao local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	40	5	2	1	10	75%	0.83%	Elevado	40
	8.3.1	Melhoria do processo de decapagem através da substituição das atuais peças de proteção da gola da garrafa com uma nova peça de proteção com uma ergonomia que permita a supressão de retenção de partículas junto do bocal da garrafa; Eventual adição de um sistema de aspiração perto da saída da camara de decapagem.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Médio	60
Remoção da garrafa da cadeia aérea automática	9.1.1	A temperatura do forno deve estar estabilizada no momento em que se encontram garrafas no interior da camara de cura; Este modo de falha apenas poderia ser resolvido com a aquisição de um sistema de pintura diferente.	20	5	1	1	5	75%	0.83%	Elevado	80
	9.1.2	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	3	3	1	1	3	0%	0.00%	Baixo	20
	9.1.3	Melhoria do processo de decapagem através da substituição das atuais peças de proteção da gola da garrafa com uma nova peça de proteção com uma ergonomia que permita a supressão de retenção de partículas junto do bocal da garrafa; Eventual adição de um sistema de aspiração perto da saída da camara de decapagem.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Médio	60

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.25: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 14/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	10.1.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Baixo	20
	10.1.2	As garrafas devem ser posicionadas com uma distancia suficiente para que não se toquem. Mesmo que o tempo entre a pintura e a sua colocação no local de repouso seja alargado, pode não ser suficiente para a completa secagem da tinta; Eventual aquisição de um sistema de secagem de tinta, com ventiladores que projetem ar sobre a superfície da ogiva, após a aplicação da tinta e com a garrafa a rodar.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Médio	60
	10.1.3	Melhoria do processo de decapagem através da substituição das atuais peças de proteção da gola da garrafa com uma nova peça de proteção com uma ergonomia que permita a supressão de retenção de partículas junto do bocal da garrafa; Eventual adição de um sistema de aspiração perto da saída da camara de decapagem.	16	4	1	1	4	75%	0.83%	Médio	60
	10.1.4		24	4	1	1	4	83%	0.93%		60
	10.2.1	Apesar da tinta vir preparada, deve ser inicialmente homogenizada com o sistema de agitação cedido pela pá de agitação; Por outro lado, deve ser feita uma lavagem da tubagem do circuito para poder garantir que a tinta aplicada está conforme e homogeneizada; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	3	3	1	1	3	0%	0.00%	Moderado	40
	10.2.2		9	3	1	1	3	67%	0.74%		40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.26: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 15/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
Transporte desde a remoção da garrafa da linha até à remoção do mecanismo de transporte	10.2.3	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Moderado	40
	10.3.1	Apesar da tinta vir preparada, deve ser inicialmente homogenizada com o sistema de agitação cedido pela pá de agitação; Por outro lado, deve ser feita uma lavagem da tubagem do circuito para poder garantir que a tinta aplicada está conforme e homogeneizada; Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	10	5	1	1	5	50%	0.56%	Moderado	40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.27: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 16/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	10.3.2	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos	20	5	1	1	5	75%	0.83%	Moderado	40
	10.3.3	Aumento da altura da banda da cabine da pintura de corpo; O modo de falha foi identificado para todas as garrafas: a altura da banda é insuficiente para que não ocorra a pintura de parte da ogiva.	40	4	2	2	16	60%	0.67%	Moderado	40

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.28: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 17/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
	10.3.4	Propõe-se a criação de uma estrutura de proteção (tipo toldo) da ogiva desde o local da pintura da ogiva de forma a que não haja deposição de partículas na superfície da mesma antes da aplicação da tinta; Manutenção atempadamente periódica e cumprimrnto de medidas de verificação do estado de funcionamento e de conformidade da cascata de água, como a acumulação de tinta; como a manutenção deve ser efetuada regular-mente propõe-se a inclusão de um procedimento de limpeza todas as semanas para evitar salpicos de água da cortina de água projetadas sobre a superfície da ogiva, e da retenção de tinta na banda de proteção e no depósito; a limpeza do nó de saída das pistolas deve ser desobstruído regularmente, de igual forma; Propõe-se uma cabine fechada com apenas acesso à calibração da pistola de projeção da tinta (se este sistema não se determinar automático) para evitar a não conformidade da pintura por problemas relacionados com a influencia do meio ambiente (T e H); Propõe-se a incorporação de uma camara termográfica no sistema de pintura da ogiva de forma a que a tinta seja aplicada num momento de temperatura ótimade superfície (se possível incorporár um sistema automático no inicio da projeção de tinta por parte das pistolas de projeção quando a superfície se encontra com Tótima); Esta temperatura é regida pelas informações de aplicação incluidas nas fichas de especificação da tinta que a acompanham ou são cedidas pelos fornecedores.	40	5	2	1	10	75%	0.83%	Elevado	40
Remoção do mecanismo de transporte de garrafas na cadeia de pintura	11.1.1	A correta inspeção do estado de corrosão da rosca do gargalo da garrafa e o medidor de rosca, garantem a conformidade do processo.	1	1	1	1	1	0%	0.00%	Moderado	40
	11.2.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Baixo	20
	11.2.2	As garrafas devem ser posicionadas com uma distancia suficiente para que não se toquem. Mesmo que o tempo entre a pintura e a sua colocação no local de repouso seja alargado, pode não ser suficiente para a completa secagem da tinta; Eventual aquisição de um sistema de secagem de tinta, com ventiladores que projetem ar sobre a superfície da ogiva, após a aplicação da tinta e com a garrafa a rodar.	24	3	1	1	3	88%	0.97%	Médio	60
	11.2.3	Melhoria do processo de decapagem através da substituição das atuais peças de proteção da gola da garrafa com uma nova peça de proteção com uma ergonomia que permita a supressão de retenção de partículas junto do bocal da garrafa; Eventual adição de um sistema de aspiração perto da saída da camara de decapagem.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Médio	60
	11.2.4		24	4	1	1	4	83%	0.93%		60

Pintura da ogiva de uma garrafa de gás na CAA

Tabela E.29: Ações de mitigação propostas, novos níveis de risco, contribuição para o risco total e custo estimado (Parte 18/18).

Etapa	ID	Ação de Mitigação	RPN (A)	S (N)	O (N)	D (N)	RPN (N)	ΔR	ΔG	€	EQ
Transporte da garrafa desde a cadeia de pintura até ao local de colocação da válvula	12.1.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Baixo	20
	12.1.2	As garrafas devem ser posicionadas com uma distancia suficiente para que não se toquem. Mesmo que o tempo entre a pintura e a sua colocação no local de repouso seja alargado, pode não ser suficiente para a completa secagem da tinta; Eventual aquisição de um sistema de secagem de tinta, com ventiladores que projetem ar sobre a superfície da ogiva, após a aplicação da tinta e com a garrafa a rodar.	24	3	1	1	3	88%	0.97%	Médio	60
	12.1.3	Melhoria do processo de decapagem através da substituição das atuais peças de proteção da gola da garrafa com uma nova peça de proteção com uma ergonomia que permita a supressão de retenção de partículas junto do bocal da garrafa; Eventual adição de um sistema de aspiração perto da saída da camara de decapagem.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Médio	60
	12.1.4		24	4	1	1	4	83%	0.93%		60
Montagem da válvula	13.1.1	Reuniões de sensibilização dos procedimentos a efetuar; Procedimentos impressos e atualizados, perto do local da atividade; Incentivo para reportar procedimentos com más práticas executados no terreno que fazem com que os modos de falha ocorram com maior regularidade.	24	3	2	1	6	75%	0.83%	Baixo	20
	13.1.2	As garrafas devem ser posicionadas com uma distancia suficiente para que não se toquem. Mesmo que o tempo entre a pintura e a sua colocação no local de repouso seja alargado, pode não ser suficiente para a completa secagem da tinta; Eventual aquisição de um sistema de secagem de tinta, com ventiladores que projetem ar sobre a superfície da ogiva, após a aplicação da tinta e com a garrafa a rodar.	24	3	1	1	3	88%	0.97%	Médio	60
	13.1.3	Melhoria do processo de decapagem através da substituição das atuais peças de proteção da gola da garrafa com uma nova peça de proteção com uma ergonomia que permita a supressão de retenção de partículas junto do bocal da garrafa; Eventual adição de um sistema de aspiração perto da saída da camara de decapagem.	24	4	1	1	4	83%	0.93%	Médio	60
	13.1.4		24	4	1	1	4	83%	0.93%		60
	13.2.1	A correta inspeção do estado de corrosão da rosca do gargalo da garrafa e o medidor de rosca, garantem a conformidade do processo.	2	1	1	1	1	50%	0.56%	Moderado	40
						Percentagem		64.39%	64.39%		

Anexo 1 Cartas Psicrométricas

Figura I.1: Carta Psicrométrica de -10ºC a 40ºC (diagrama disponível em [74]).

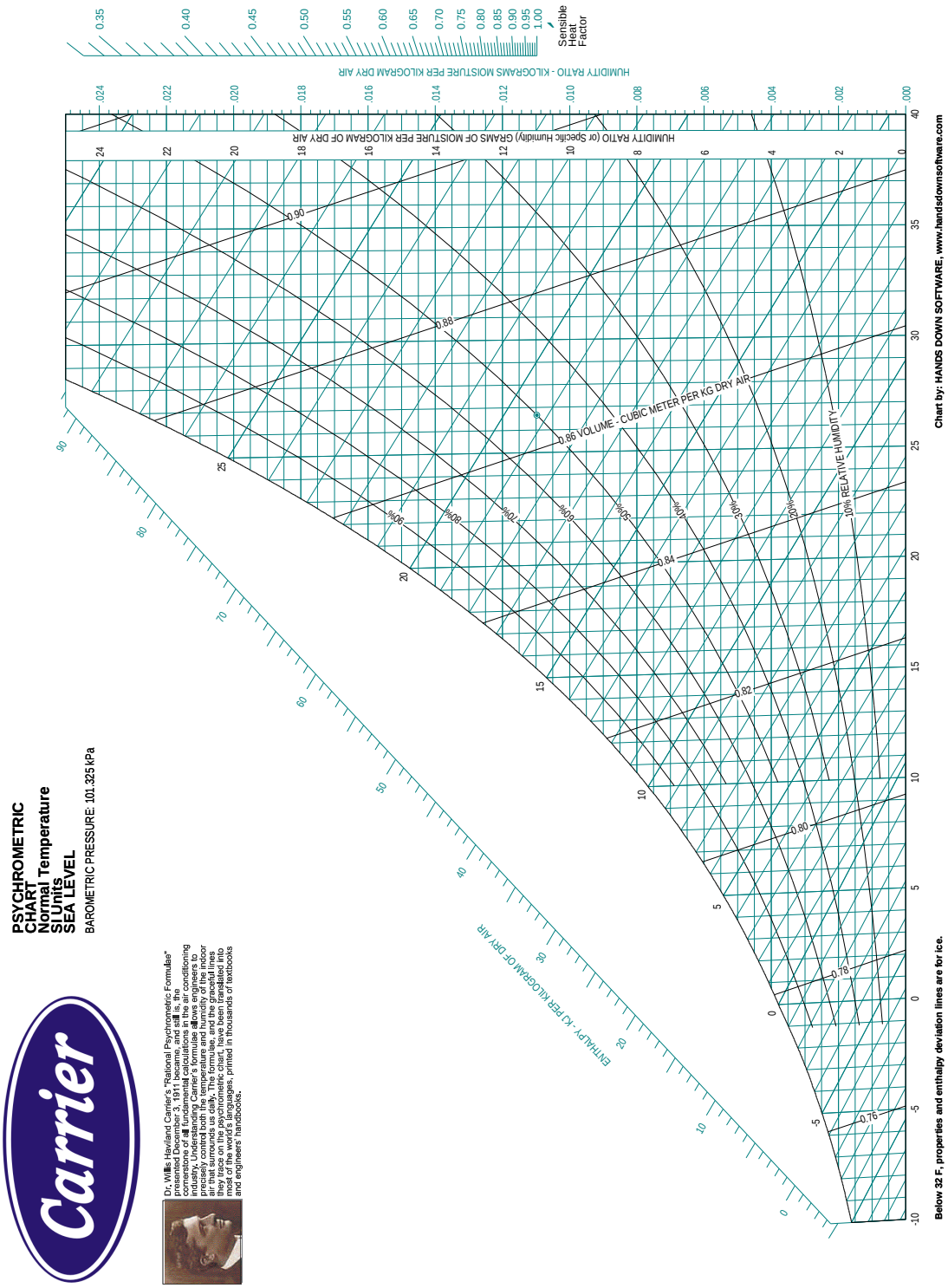
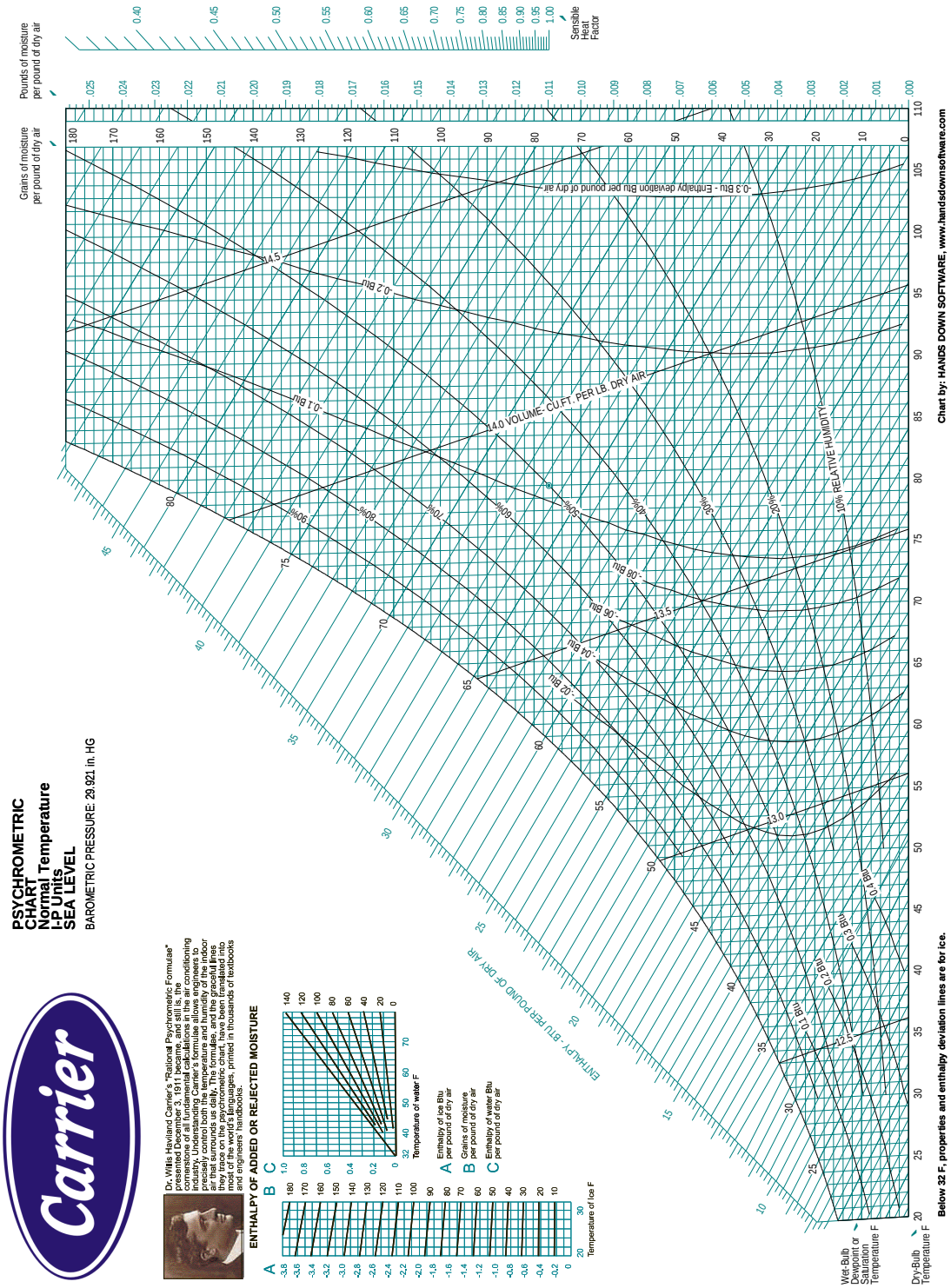


Figura I.2: Carta Psicrométrica de 20ºC a 110ºC (diagrama disponível em [74]).



II

Anexo 2 Formulário para o estudo do impacto da pressão na humidade

Figura II.1: Formulário elaborado para preenchimento no estudo do impacto da pressão na humidade.

Garrafa	Pressão 200 bar	Pressão 30 bar
EXP 1.1.		
EXP 1.2.		
EXP 2.1.		
EXP 2.2.		
EXP 3.1.		
EXP 3.2.		
EXP 4.1.		
EXP 4.2.		
EXP 5.1.		
EXP 5.2.		
EXP 6.1.		
EXP 6.2.		
EXP 7.1.		
EXP 7.2.		
EXP 8.1.		
EXP 8.2.		

III

Anexo 3 Controlo da humidade, inspeção e isolamento da garrafa, opções de mercado

Monitorização no processo de secagem:

Para circuito aberto: Sondas, transmissores e higrómetros

Nome do equipamento: Moisture & Water Vapor Sensor: GPro 500

- **Nome da empresa:** Mettler Toledo;
- **Limiar analítico: Limite de deteção inferior:** 5 ppm-v, 1 ppm -v; **Faixa de medição:** 0-200.000 ppm (0-2%), 0-100.000 ppm (0-1%);
- **Precisão:** 2% da leitura ou 10 oom, o que for maior;
- **Linearidade:** Melhor que 1%;
- **Resolução:** 5 ppm-v, 1 ppm-v;
- **Derivação:** Insignificante (<2% da faixa de medição entre os intervalos de manutenção);
- **Taxa de amostragem:** 1 segundo;
- **Tempo de resposta**: H2O em N2 1% a 0% em <4 segundos;
- **Repetibilidade**: ± 0,25% da leitura ou 50 ppm-v H2O (o que for maior);
- **Faixa de pressão do processo**: 0,8 bar - 3 bar (abs) / 11,6 psi - 29 psi (abs), 0,8 bar - 5 bar (abs) / 11,6 psi - 72,5 psi (abs);
- **Faixa de temperatura do processo:** 0-250 ° C (23-482 ° F); opcional (para instalação da sonda) 0-600 ° C (0-1112 ° F) com barreira térmica adicional;
- **Comprimento efetivo do caminho:** 50 mm - 10 m, dependendo da adaptação;
- **Adaptação de processo/sensor:** Sensor;
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: Medidor de humidade e temperatura da série HMT330 com Sonda de umidade relativa e temperatura HMP5; compatibilidade com Transmissores da série Indigo500 (Protocolo Modbus TCP/IP;Várias opções de alimentação, inclusive Power over Ethernet (PoE) e fonte de alimentação VAC)

- **Nome da empresa:** Vaisala;
- **Precisão:** Precisão de HR de até 0,8% de HR, Precisão de temperatura de até 0,1 ° C (0,18 ° F);
- **Protocolo de comunicação:** Modbus RTU sobre RS-485; Plug & play compatível com a série Indigo ™ de transmissores; software para PC Vaisala Insight ™;
- **Faixa de temperatura do processo:** -70 ... +180 ° C (-94 ... +356 ° F);
- **Adaptação de processo/sensor:** Sonda de 250 mm (9,84 pol.) Permite fácil instalação do processo através do isolamento;
- **Observações**: Existem seis modelos para escolher: HMT331 para montagem na parede, consulte também HMP1; HMT333 para montagem em dutos e espaços apertados, consulte também HMP3 e HMP9; HMT334 para altas pressões de até 100 bar e condições de vácuo, consulte também HMP4; HMT335 para altas temperaturas, consulte também HMP5; HMT337 para aplicações meteorológicas e de alta umidade, consulte também HMP7; HMT338 para tubulações pressurizadas até 40 bar, consulte também HMP8;
- **URL**: https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HMT330-Series-Datasheet-B210951EN.pdf; https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmp5
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: Medidor de umidade e temperatura da série HMT330 com Sonda de humidade relativa e temperatura HMP7; compatibilidade com Transmissores da série Indigo500 (Protocolo Modbus TCP/IP;Várias opções de alimentação, inclusive Power over Ethernet (PoE) e fonte de alimentação VAC)

- **Nome da empresa:** Vaisala;
- **Precisão:** Precisão de HR de até 0,8% de HR, Precisão de temperatura de até 0,1 ° C (0,18 ° F);
- **Protocolo de comunicação:** Modbus RTU sobre RS-485; Plug & play compatível com a série Indigo ™ de transmissores; software para PC Vaisala Insight ™;
- **Faixa de temperatura do processo:** -70 ... +180 ° C (-94 ... +356 ° F);
- **Adaptação de processo/sensor:** Construção à prova de vapor e pressão; As funções de aquecimento da sonda e do sensor minimizam a condensação na sonda; A purga do sensor fornece resistência química superior;
- **Observações**: Existem seis modelos para escolher: HMT331 para montagem na parede, consulte também HMP1; HMT333 para montagem em dutos e espaços apertados, consulte também HMP3 e HMP9; HMT334 para altas pressões de até 100 bar e condições de vácuo, consulte também HMP4; HMT335 para altas temperaturas, consulte também HMP5; HMT337 para aplicações meteorológicas e de alta umidade, consulte também HMP7; HMT338 para tubulações pressurizadas até 40 bar, consulte também HMP8;
- **URL**: https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HMT330-Series-Datasheet-B210951EN.pdf; vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmp7
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: Humidade relativa e sonda de temperatura HMP7

- **Nome da empresa:** Vaisala;
- **Precisão:** Precisão de HR de até 0,8% de HR, Precisão de temperatura de até 0,1 ° C (0,18 ° F);
- **Protocolo de comunicação:** Modbus RTU sobre RS-485; Plug & play compatível com a série Indigo ™ de transmissores; software para PC Vaisala Insight ™;
- **Faixa de temperatura do processo:** -70 ... +180 ° C (-94 ... +356 ° F);
- **Adaptação de processo/sensor:** Construção à prova de vapor e pressão; As funções de aquecimento da sonda e do sensor minimizam a condensação na sonda; A purga do sensor fornece resistência química superior;
- **Observações**: Existem seis modelos para escolher: HMT331 para montagem na parede, consulte também HMP1; HMT333 para montagem em dutos e espaços apertados, consulte também HMP3 e HMP9; HMT334 para altas pressões de até 100 bar e condições de vácuo, consulte também HMP4; HMT335 para altas temperaturas, consulte também HMP5; HMT337 para aplicações meteorológicas e de alta umidade, consulte também HMP7; HMT338 para tubulações pressurizadas até 40 bar, consulte também HMP8;
- **URL**: https://www.vaisala.com/pt/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmp7
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: Sensores de temperatura e humidade

- **Nome da empresa:** JUMO;
- **Precisão:** De −20 à +40 °C : ±(1,0 + 0,8% de la mesure)% Hr;
- **Protocolo de comunicação:** Interface sérielle : RS232C, RS485 (en option);
- **Adaptação de processo/sensor:** Air Temperature: -40°C to +70°C;
- **URL**: https://www.jumo.fr/web/products/apps/productdetailpage?pdpId=907023
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: SHT35 modified by Campbell Scientific

- **Nome da empresa:** Campbell Scientific;
- **Precisão:** Humidade relativa: -NOTA- Os valores de precisão citados são os limites de confiança de 95% relativos aos padrões de fábrica.; Humidade relativa: ± 1,5% (a 25 ° C, na faixa de 0 a 80% UR); Humidade relativa: ± 2% (a 25 ° C, na faixa de 80 a 100% UR); Temperatura do ar: ± 0,2 ° C (na faixa de -40 a + 70 ° C); Temperatura do ar: ± 0,1 ° C (na faixa de -20 a + 60 ° C);
- **URL**: https://www.campbellsci.com
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: EE181-LAir Temperature and Relative Humidity Sensor

- **Nome da empresa:** Campbell Scientific;
- **Precisão:** NOTA- As especificações de precisão incluem histerese, não linearidade e repetibilidade.; ± (1,3 + 0,003 • leitura de UR)% UR (de -15 ° a + 40 ° C, 0 a 90% UR)
- ± 2,3% UR (de -15 ° a + 40 ° C, 90 a 100% UR); ± (1,4 + 0,01 • leitura de UR)% UR (de -25 ° a + 60 ° C); ± (1,5 + 0,015 • leitura de UR)% UR (de -40 ° a + 60 ° C);
- **Protocolo de comunicação:** Sensing Element: 1000 Ω Platinum Resistance; O EE181 funcionará com escudos de radiação de 10 placas RM Young (41003-5 ou 41003-5A), mas esses escudos requerem um adaptador especial (pn 28415) para acomodar a circunferência do sensor.; O RAD10E e o 41003-5 são acoplados a uma cruzeta, mastro ou tubo fornecido pelo usuário com diâmetro externo de 2,5 a 5,3 cm (1,0 a 2,1 pol.). A blindagem de radiação 41003-5A se conecta a um poste da série CM500 ou um poste fornecido pelo usuário com um diâmetro externo de 5,1 cm (2,4 pol.); Thermometer (PRT); comprimento do sensor: 16cm; Faixa de sinal de saída: 0-1 Vdc
- **URL**: https://www.campbellsci.com/ee181-l
- **Preço:** Dependente de pedido orçamento.

Nome do equipamento: C3121 Data Loggers Thermo-hygrometer External Probe

- **Nome da empresa:** Alphaomega Eletronics;
- **Faixa de medição:** (-30 to +105°C) (5 to 95%RH);
- **Precisão:** Precisão de medição de temperatura com sensor embutido± 0,4 ° C; Precisão da medição da umidade do ar ± 2,5% RH de 5 a 95% a 23 ° C, resolução de 0,1%; Precisão da medição do ponto de orvalho 1,5 ° C no ambiente T <25 ° C e UR> 30%, ; faixa -60 a +80 ° C;
- **Protocolo de comunicação:** Sensor de temperatura RTD Ni1000 / 6180ppm; Dimensões 141 x 71 x 27 mm, comprimento da sonda 135 mm, diâmetro da sonda 18 mm;
- **URL**: https://www.alphaomega-electronics.com/en/temperatura-y-humedad/2034-c3121-termohigrometro-con-sonda-externa-30-a-105c-5-a-95rh.html
- **Preço:** 170 Eur.

Nome do equipamento: Higrômetro HMI 7822FR

- **Nome da empresa:** Esure Professionnelle;
- **Faixa de medição:** 2 a 30,5%;
- **Precisão:** Humidade: 2 a 30,5% / ± (1% + 0,5); - Temp. : -10 a + 60 ° C / ± 2 ° C;
- **Protocolo de comunicação:** Sonda de ponta dupla / L: 40 cm;
- **URL**: https://www.mesure-professionnelle.fr/hygrometre/582-hygrometre-avec-sonde-double-pointe-mesure-de-2-a-305-.html?gclid=Cj0KCQjw5uWGBhCTARIsAL70sLJ0pPt_cepLSarYT3nYorJh9EcZKsMNFeOltqCYO8jXOXIlwEWqjmIaAp59EALw_wcB
- **Preço:** 74 Eur.

Nome do equipamento: Capteur d'humidité TE Connectivity

- **Nome da empresa:** RS Components SAS Rue Norman King;
- **Faixa de medição:** Faixa de temperatura operacional -40 a +60 ° C; Temperatura mínima de operação -40 ° C; Temperatura máxima de operação +60 ° C;
- **Precisão:** ±5%HR;
- **Protocolo de comunicação:** Tipo de interface: Analógico;
- **URL**: https://fr.rs-online.com/web/p/capteurs-de-temperature-et-d-humidite/8937247/?cm_mmc=FR-PLA-DS3A-_-google-_-CSS_FR_FR_Semi-conducteurs_Whoop-_-(FR:Whoop!)+Capteurs+de+temp%C3%A9rature+et+d%27humidit%C3%A9-_-8937247&matchtype=&pla-541160432597&gclid=Cj0KCQjw5uWGBhCTARIsAL70sLKNhOPudlyBF4E1ieGUxyXAYKlBgSTiL2CJc220WJCl5u9xmQ0lf0MaAspDEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- **Preço:** 51,56 Eur.

Nome do equipamento: Capteur de température et d'humidité TE Connectivity

- **Nome da empresa:** RS Components SAS Rue Norman King;
- **Faixa de medição:** Temperatura mínima de operação -40 ° C; Faixa de temperatura operacional -40 → +85 ° C; Temperatura máxima de operação +85 ° C;
- **Precisão:** ±5%HR;
- **Protocolo de comunicação:** Tipo de interface: Analógico;
- **URL**: https://fr.rs-online.com/web/p/capteurs-de-temperature-et-d-humidite/8937373/?cm_mmc=FR-PLA-DS3A-_-google-_-CSS_FR_FR_Semi-conducteurs_Whoop-_-(FR:Whoop!)+Capteurs+de+temp%C3%A9rature+et+d%27humidit%C3%A9-_-8937373&matchtype=&pla-369225641724&gclid=Cj0KCQjw5uWGBhCTARIsAL70sLJxe6wplZdIgvSHOrEd_iBM-IvHx1eLdxN35_exNl93Eh9zgQ_KtLUaAoRIEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- **Preço:** 70,74 Eur.

Nome do equipamento: <u>Digital thermo-hygrometer T260</u>

- **Nome da empresa:** Trotec;
- **Faixa de medição:** Temperatura: -20°C a +50°C Faixa de medição temperatura da superfície: -70°C a +380°C; Humidade: 0 - 100 % H.r;
- **Precisão:** Precição temperatura da superfície: ± 0,2 °C (0 a 40 °C) caso contrário ± 0,4 °C; Precição humidade do ar: ± 2% H.r;
- **Protocolo de comunicação:** Interfaces: USB;
- **Resolução:** Temperatura do ar: 0,1 °C; Humidade: 0,1 % H.r; Temperatura da superfície: 0,1 °C
- **URL**: https://www.trotec24.pt/medidores/clima/medidores-portateis/termohigrometro-infravermelho-t260.html?rc=dd8197509a&gclid=CjwKCAjwieuGBhAsEiwA1Ly_nfWiIrJln4uEhllgSQfQSdAeuUZc9xQ7x8GhfeXlS7jViyhD4x__9hoCILEQAvD_BwE#t060dac9e5e5eaa
- **Preço:** 313,65 Eur.

Nome do equipamento: <u>Termohigrómetro testo 605i - Com App para smartphone e tablet</u>

- **Nome da empresa:** Testo;
- **Faixa de medição:** (-20 a +60 °C); (0 a 100 %rF);
- **Precisão:** Resolução 0,1 °C; Resolução 0,1 %rF;
- **Protocolo de comunicação:** Comprimento do eixo da sonda: 100 mm;
- **Resolução:** (±0,8 °C (-20 a 0 °C); ±0,5 °C (0 a +60 °C)); (±3,0 %rF (10 a 35 %rF) (AT +25°C); ±2,0 %rF (35 a 65 %rF) (AT +25°C); ±3,0 %rF (65 a 90 %rF) (AT +25°C); ±5 %rF (< 10 %rF ou > 90 %rF));
- **URL**: https://www.testo.com/pt-PT/termohigrometro-testo-605i/p/0560-2605-02;
- **Preço:** Dependente de pedido de orçamento.

Nome do equipamento: <u>RH 896 Infrared thermometer with hygrometer</u>

- **Nome da empresa:** Dostmann electronic GmbH;
- **Faixa de medição:** Wide temperature range; Infrared: -50...+500°C; Thermocouple: -100...+1400°C;
- **Precisão:** ± 2% ou 2 ° C o que for maior (entrada do termopar: ± 1% ou 1 ° C o que for maior;
- **Protocolo de comunicação:** Thermocouple, steel braiding with thermocouple strip, 1000mm length; Thermocouple, steel braiding with thermocouple strip, 6000mm length; Type K insertion probe, Cl. 1 -50...+550°C 130 x 1,5 mm Ø; Typ K Surface probe with thermocouple strip 150 x 15mm; Typ K, Kl. 1 -100...+1100°C 130 x 1 mm Ø; Typ K, Kl. 1 -100...+1100°C 230 x 3,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+1100°C 300 x 1,5 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+1100°C 300 x 3,0 mm Ø; Typ K, Cl. 1 -100...+1100°C 300 x 4,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+260°C 150 x 4,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+800°C 100 x 0,5 mm Ø; Type K, Cl. 1 -15...+110°C tape probe for surfaces; Type K, Cl. 1 -40...+200°C; Type K, Cl. 1 -40...+250°C, 1000 x 2,6mm; Type K, Cl. 1 -40...+400°C, 1000 x 1mm; Type K, Cl. 1 -40...+900°C 130x8,0 mm Ø; Typ K, Kl. 1 -40...+900°C 130x8,0 mm Ø 90°; Type K, Cl. 1 -65...+200°C 26,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -65...+200°C, 19,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -65...+350°C 130 x 10mm Ø; Type K, Cl. 1 Tyre probe; Type K, Cl. 1 Globe Thermometer; Type K, Cl. 1, -65...+200°C, 1250mm length; Type K, Cl. 1, -65...+550°C, 180mm length; Typ K, Kl. 2 -100...+1100°C 300 x 1,5 mm Ø surface; Type K, Cl. 2, -40...+400°C 120x3,5 mm Ø; Typ-K Surface probe 150 x 9mm; Typ-K Roller Surface probe up to 450°C;

- **Resolução:** Resposta spectral 6 - 14 µm;
- **URL**: https://dostmann-electronic.de/product/rh-896-infrared-thermometer-with-hygrometer.html
- **Preço:** Dependente de pedido de orçamento.

Nome do equipamento: Scan Temp RH 860 Infrared Video thermometer with humidity sensor

- **Nome da empresa:** Dostmann electronic GmbH;
- **Faixa de medição:** Faixa de temperatura -50 ° C ... + 1000 ° C (entrada do termopar: -100 ... + 1370 ° C);
- **Precisão:** (+20 .. + 1000 ° C: ± 1 ° C ou 2%, + -3,5 ° C faixa restante (entrada do termopar: ± 1% ou 1 ° C o que for maior);
- **Protocolo de comunicação:** Thermocouple, steel braiding with thermocouple strip, 1000mm length; Thermocouple, steel braiding with thermocouple strip, 6000mm length; Type K insertion probe, Cl. 1 -50...+550°C 130 x 1,5 mm Ø; Typ K Surface probe with thermocouple strip 150 x 15mm; Typ K, Kl. 1 -100...+1100°C 130 x 1 mm Ø; Typ K, Kl. 1 -100...+1100°C 230 x 3,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+1100°C 300 x 1,5 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+1100°C 300 x 3,0 mm Ø; Typ K, Cl. 1 -100...+1100°C 300 x 4,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+260°C 150 x 4,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -100...+800°C 100 x 0,5 mm Ø; Type K, Cl. 1 -15...+110°C tape probe for surfaces; Type K, Cl. 1 -40...+200°C; Type K, Cl. 1 -40...+250°C, 1000 x 2,6mm; Type K, Cl. 1 -40...+400°C, 1000 x 1mm; Type K, Cl. 1 -40...+900°C 130x8,0 mm Ø; Typ K, Kl. 1 -40...+900°C 130x8,0 mm Ø 90°; Type K, Cl. 1 -65...+200°C 26,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -65...+200°C, 19,0 mm Ø; Type K, Cl. 1 -65...+350°C 130 x 10mm Ø; Type K, Cl. 1 Tyre probe; Type K, Cl. 1 Globe Thermometer; Type K, Cl. 1, -65...+200°C, 1250mm length; Type K, Cl. 1, -65...+550°C, 180mm length; Typ K, Kl. 2 -100...+1100°C 300 x 1,5 mm Ø surface; Type K, Cl. 2, -40...+400°C 120x3,5 mm Ø; Typ-K Surface probe 150 x 9mm; Typ-K Roller Surface probe up to 450°C;
- **Resolução:** Resposta spectral 6 - 14 µm;
- **URL**: https://dostmann-electronic.de/product/scan-temp-rh-860-infrared-video-thermometer-with-humidity-sensor.html
- **Preço:** Dependente de pedido de orçamento.

Nome do equipamento: humimeter RH2 Precise handheld thermo-hygrometer with Datalogger

- **Nome da empresa:** Schaller;
- **Precisão:** Medição de umidade relativa depende do sensor usado, resolução: 0,1% rh; A temperatura pode ser definida para ° C e ° F, conforme necessário; A medição da temperatura depende do sensor usado, resolução: 0,1 ° C; Ponto de orvalho -55 ° C a + 60 ° C, resolução de 0,1 ° C, -67 ° F a 140 ° F; Umidade absoluta 0 a 130 g / m³, resolução 0,1 g / m³; Conteúdo de umidade de equilíbrio de 2% a 30%, resolução de 0,1%; Resolução de grânulos sintéticos de teor de umidade de equilíbrio 0,01%;
- **Protocolo de comunicação: O**pcional: módulo de interface de dados USB humimeter com software LogMemorizer de gravação e análise de dados de medição em CD incl. Cabo USB para PC e impressora;
- **Adaptação Processo/ Sensor**: Sensores selecionáveis: artigo no. 12032, 12514, 12004 ou 12168;
- **URL**: https://www.humimeter.com/th/climate-environment/water-activity-meter
- **Preço:** Dependente de pedido de orçamento.

Nome do equipamento: Digital thermo-hygrometer -60 °C ... +500 °C | THI 350

- **Nome da empresa:** ebro Electronic – Business Unit of WTW GmbH;
- **Precisão:** Measuring range: -60 ° C ...+500 °C;
- **Adaptação Processo/ Sensor**: Internal sensor for measuring the relative;
- **URL**: https://www.directindustry.com/prod/ebro-electronic-business-unit-wtw-gmbh/product-13046-1155369.html;
- **Preço:** Dependente de pedido de orçamento.

Em alternativa, explorar as opções para circuito fechado:

APIMS mass spectometer;

CRDS;

SAW;

CEMS;

STM;

AET;

UT;

Moisture traps;

NIR;

FTIR;

FLIR/SEEK

Utensílios de inspeção

Inspeção visual com luz U.V. para garrafas de O2

Nome do utensílio: Dual White / Ultra-Violet Cylinder Inspection Light

- **Nome da empresa:** Hydro-test, Products, Inc.
- **URL:** https://www.hydro-test.com/ecommerce/hydrostatic-testing-equipment/visual-inspection-tools/69-099-ultra-violet-inspection-light.html
- **Preço:** 260,79 Eur.

Inspeção com espelho dentário da zona da ogiva

Nome do utensílio: Inspection Mirror And LED Torch

- **Nome da empresa:** Gas UK;
- **URL:** https://www.gas-uk.co.uk/inspection-mirror-and-led-torch.html
- **Preço:** 14,10 Eur.

Nome do utensílio: Small Size .465" (12mm) Diameter Mirror for Cylinder Thread Inspection

- **Nome da empresa:** Hydro-Test Products, Inc.
- **URL:** https://www.hydro-test.com/ecommerce/hydrostatic-testing-equipment/visual-inspection-tools/69-058-inspection-mirror-12mm-dia.html
- **Preço:** 17,64 Eur.

Inspeção da rosca interna da garrafa

Nome do utensílio: Vividia TV-110 CTS Cylinder Thread Viewer for Gas Cylinder Neck Internal Thread Inspection

- **Nome da empresa:** Oasis Scientific Inc.
- **URL:** https://www.oasisscientific.com/store/p589/Vividia_TV-110_CTS_Cylinder_Thread_Viewer_for_Gas_Cylinder_Neck_Internal_Thread_Inspection.html
- **Preço**: 264,38 Eur.

Inspeção com borescópio

Nome do aparelho: IPLEX G Lite (Industrial Videoscope)

- **Nome da empresa:** OLYMPUS
- **URL:** https://www.olympus-global.com/technology/design/product/iplex_g_lite.html?page=technology_design
- **Preço:** Na seguinte página, original do pedido de orçamento.

Tampas de rosca para isolar o interior da garrafa

Nome do utensílio: Cylinder Safety Plugs

- **Nome da empresa:** EVERGGREEN Midwest co.
- **URL:** https://www.evergreenmidwest.com/cylinder-plugs.html
- **Preço:** Dependente de pedido de orçamento.

AIR LIQUIDE

Patrícia Deus
Zona Industrial das Corredouras
PT 2630-355 Arruda dos Vinhos

Sua oferta:

N° do orçamento: Q-21334
Nº cliente: 2000554789
Data: 16.09.2021

Contato:

Nuno Felix
E-Mail: nuno.felix@olympus.pt

Customer Care:

Telefone: +351 21 754 32 80

IPLEX G Lite

#	Artigo / Referência	Preço Lista	Desconto	Preço Líquido	Quantidade	Preço Líquido Total
1	N4153900	20 879,00 €		20 879,00 €	1	20 879,00 €

IV9620GL IPLEX GL

Videoscópio industrial ultraportátil IPLEX G Lite com:
· Tubo de inserção trançado de tungstênio resistente a esmagamento e abrasão altamente durável
· Diâmetro: 6,00 mm | Comprimento: 2,0 m | Flexibilidade da sonda: Tapered Flex
· Ângulo máximo de articulação: 150º para cima/baixo/esquerda/direita com recurso de bloqueio
· Mecânica de articulação: articulação eletrônica TrueFeel™ para movimento rápido e preciso
· Aviso de temperatura em dois níveis: 80 ºC e 100 ºC
· Aparafusar o adaptador usando um mecanismo de rosca dupla com vedação em O-ring
· Capacidade de medição: scaler (incluído) e estéreo (opcional com kit de atualização)
· Imagem ao vivo e streaming de vídeo usando adaptador USB sem fio com dispositivos iOS compatíveis (opcional)
· Compatível com MIL-STD 810G/461G e classificação IP65
· Fluxo de trabalho de inspeção InHelp e gerenciamento de imagens com geração automática de relatório via InHelp Viewer (incluído)

Características da unidade principal do videoscópio:
· Resistente monitor LCD WVGA de 4,3 polegadas integrado para visão diurna com painel de toque capacitivo
· Modo de proteção de tela com botões de atalho de ação rápida para ON/OFF o monitor LCD
· Ângulo de visão máximo: 160º esquerda-direita/cima-baixo
· Manipulação de imagem ao vivo: inversão esquerda-direita/cima-baixo e rotação de 180º
· Botão de controle ON/OFF de iluminação
· Iluminação LED com modo ECO para otimizar o consumo de energia
· Fonte de luz LED intercambiável com branco (incluído), UV e IR (opcional)
· Gravação de imagem: JPEG compactado (resolução de píxel 768H × 576V)
· Gravação de vídeo: MPEG 4 AVC/H.264 (resolução de píxel de 768H × 576V) com exibição de tempo decorrido/restante
· Taxas de quadros: 30 fps e 60 fps | Saída de vídeo: HDMI Tipo C
· Captura de imagem durante a gravação e reprodução de vídeo
· Entrada/saída de áudio: miniplugue CTIA de 3,5 mm
· Gravação de vídeo constante via micro SDHC 4 GB a 32 GB classe 10 ou superior (Micro SDHC opcional)
· Gravação de imagem/vídeo via SDHC 4 GB a 32 GB classe 6 ou superior (SDHC de 4 GB incluído)
· Memória interna apenas para gravação de imagens: 20 imagens
· Funcionalidade de carregamento de bateria integrada na unidade de videoscópio
· Suporte do software nos idiomas: Inglês, Alemão, Francês, Espanhol, Português, Italiano, Polonês, Russo, Japonês, Chinês, Coreano, Opcional: Tcheco, Húngaro

O pacote de imagens avançadas IPLEX inclui:
· 5 configurações de zoom digital sem montagem
· 16 etapas de controle de brilho
· 4 etapas de controle de ganho ajustável

OLYMPUS IBERIA S.A.U.
Plaza Europa, 29-31 08908 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona) España
Sucursal em Portugal:
Rua Castilho, 39 - 15º 1250-068 Lisboa (Portugal) · Tel: (+351) 217 543 280 e-mail: customercare.iberia@olympus-europa.com
NIPC 980474710 · Processado por computador · Registo de produtor de EEE Nº PT 000093
IBAN: BNP PARIBAS SUCURSAL EM PORTUGAL PT50 0034 0109 0014 1620 1744 4 BIC: BNPAPTPLXXX

#	Artigo / Referência	Preço Lista	Desconto	Preço Líquido	Quantidade	Preço Líquido Total
· WiDER™ (Wide Dynamic Extended Range) controle de gradação de imagem aprimorado para inspeções ideais de grandes áreas e superfícies reflexivas · Iluminação inteligente PulsarPic™ · Tecnologia de redução dinâmica de ruído O pacote IPLEX G Lite inclui: · Unidade principal IPLEX G Lite com tubo de inserção · Maleta de transporte: 455 (L) × 330 (A) × 175 (P) mm · Estojo do adaptador de ponta óptica: QTD 1 · Tampa de proteção da ponta da sonda: QTD 1 · Módulo LED de luz branca: QTD 1 · Bateria de íons de lítio: QTD 1 (MAJ-2340 N4156000) · Cabo HDMI Tipo C para Tipo A (Comprimento 1,0m): QTD 1 · Adaptador CA multitensão: QTD 1 (cabo específico do país NÃO incluído) · Cartão de memória SDHC de 4 GB: QTD 1 · Alça do tubo de inserção: QTD 1 · Alça de mão do videoscópio: QTD 1 · Escova para limpeza de lentes: QTD 1 · Manual de instruções em inglês/japonês (outros idiomas disponíveis para download em PDF) · Garantia de 1 ano					
2	N4156000	145,00 €		145,00 €	1	145,00 €
MAJ-2340 BATTERY FOR GL Replacement battery for IPLEX G Lite videoscope Compatible with optional BCH-1 battery charger (V6210380E000) Note: battery can be charged with videoscope unit or battery charger						
3	E0442161	23,00 €		23,00 €	1	23,00 €
IPLEX G Wireless USB Adapter Adaptador sem fio N Nano USB 150 Mbps para compartilhamento sem fio de imagem ao vivo e vídeo com todos os modelos de videoscópios industriais IPLEX GL/GX/GT/GAir Compatível com o aplicativo Olympus iOS: IPLEX Image Share						
4	U8840003	15,00 €		15,00 €	1	15,00 €
1514 : Power Cord European Power Cord. European - Austria. Belgium. Finland. France. Germany. Netherlands. Sweden						
5	V6210380E000	67,00 €		67,00 €	1	67,00 €
BCH-1 Battery Charger BCH-1 Battery Charger for all models of IPLEX G Lite industrial videoscope. EU cable is included. UK adapter needs to be ordered separately (E0414091)						
6	N4154600	1 455,00 €		1 455,00 €	1	1 455,00 €
IV96G-AT120D/FF IPLEX TIP Optical Tip Adaptor for IV96 IPLEX G series industrial videoscopes · Compatible with IPLEX RX/RT · Oil clearing design · Outer diameter: 6.0mm · Field of view: 120° · Direction of view: 0° direct view · Far focus · Depth of Field: 19mm to infinity · Distal end length: 18.8mm · O-ring QTY 6 included · Instruction sheet in English/Japanese included						

OLYMPUS IBERIA S.A.U.
Plaza Europa, 29-31 08908 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona) España
Sucursal em Portugal:
Rua Castilho, 39 - 15º 1250-068 Lisboa (Portugal) · Tel: (+351) 217 543 280 e-mail: customercare.iberia@olympus-europa.com
NIPC 980474710 · Processado por computador · Registo de produtor de EEE Nº PT 000093
IBAN: BNP PARIBAS SUCURSAL EM PORTUGAL PT50 0034 0109 0014 1620 1744 4 BIC: BNPAPTPLXXX

#	Artigo / Referência	Preço Lista	Desconto	Preço Líquido	Quantidade	Preço Líquido Total
7	N4154900	1 455,00 €		1 455,00 €	1	1 455,00 €

IV96G-AT120S/FF IPLEX TIP

Optical Tip Adaptor for IV96 IPLEX G series industrial videoscopes
· Compatible with IPLEX RX/RT
· Outer diameter: 6.0mm
· Field of view: 120°
· Direction of view: 90° side view
· Far focus
· Depth of Field: 3mm to infinity
· Distal end length: 24.2mm
· O-ring QTY 6 included
· Instruction sheet in English/Japanese included

Desconto:	0,00 €
Valor líquido total:	**24 039,00 €**
IVA Total:	4 844,26 €
Valor total:	**28 883,26 €**

Condições do orçamento

Condições de pagamento	Pré-pagamento
Portes	Incluído
Validade da proposta	30 dias, sujeita a aprovação do comité de riscos da Olympus

Condições gerais

Garantia 1 ano contra defeito de fabrico

Eu concordo e aceito o orçamento

AIR LIQUIDE

Ass. Patrícia Deus

Olympus Iberia S.A.U.

Ass. Nuno Felix

OLYMPUS IBERIA S.A.U.

Plaza Europa, 29-31 08908 L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona) España
Sucursal em Portugal:
Rua Castilho, 39 - 15º 1250-068 Lisboa (Portugal) · Tel: (+351) 217 543 280 e-mail: customercare.iberia@olympus-europa.com
NIPC 980474710 · Processado por computador · Registo de produtor de EEE Nº PT 000093
IBAN: BNP PARIBAS SUCURSAL EM PORTUGAL PT50 0034 0109 0014 1620 1744 4 BIC: BNPAPTPLXXX

IV

Anexo 4 Boletim técnico da tinta aquosa aplicada no processo de pintura da ogiva das garrafas de gás

BOLETIM TÉCNICO

27-113 CINIDROL RL TM

Revisão: Agosto 2018

1 DESCRIÇÃO

Tinta aquosa de secagem rápida formulada com resinas alquídicas, especialmente estudada para a pintura de peças, equipamentos e máquinas industriais. Possui boas características mecânicas e uma boa aderência mesmo quando aplicada directamente à chapa desde que esta seja convenientemente tratada. (a)

Este produto foi especialmente desenvolvido para permitir, em determinadas condições de aplicação, o cumprimento dos valores limite de emissão de COV's referidos na Directiva 2010/75/EU.

2 CARACTERÍSTICAS

Número de Componentes	1		
Cor	WICS – Sistema Colormix Industrial Aquoso		
Aspecto da Película	Brilhante		ISO 2813
Massa Volúmica	1,260 ± 0,030 g/mL (b)		ISO 2811-1
Viscosidade	70 – 80 UK		NCIN 124
Teor de Sólidos (Volume)	39 % (b)		Valor teórico
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Tinta	27-113	< 93 g/L
Ponto de Inflamação	27-113	> 100 ºC (b)	EN 456
Rendimento Teórico Para espessura recomendada	9 m^2/L (b)		
Estabilidade	1 ano quando armazenado nas embalagens de origem, em interior, entre 5 e 40 ºC.		

3 APLICAÇÃO

Suporte	Aço		
Preparação de Superfície	A superfície deve estar convenientemente lixada, limpa, desengordurada e isenta de qualquer contaminação.		
Processo de Aplicação	Trincha, rolo, pistola convencional e pistola airless.		
Diluição	Até 5 % com água		
Espessura Recomendada por Demão	Húmida Seca	105 µm 40 µm	
Tempo de Secagem	Superficial Endurecimento	30 a 60 minutos 16 horas	ASTM D1640
Esquema de Pintura	Primário recomendado: 27-830		
Diluente de Limpeza	Água		
Condições Ambientais durante a Aplicação	Temperatura Ambiente	≥ 5 °C	
	Humidade Relativa	≤ 80 %	
	Temperatura do Suporte	2 a 3 °C acima do ponto de orvalho	

É aconselhável verificar periodicamente o estado de actualização do presente Boletim Técnico. A CIN assegura a conformidade dos seus produtos com as especificações constantes dos respectivos boletins técnicos. Os conselhos técnicos prestados pela CIN, antes ou depois da entrega dos produtos, são meramente indicativos, dados de boa-fé e constituem o seu melhor conhecimento, atento o estado actual da técnica, não podendo, em caso algum, responsabilizá-la. As reclamações apenas serão aceites relativamente a defeitos de fabrico ou não conformidades com a nota de encomenda. A única obrigação que incumbe à CIN será, respectivamente, a substituição ou devolução do preço já pago da mercadoria reconhecidamente defeituosa ou de reposição da encomenda, não aceitando outras responsabilidades por quaisquer outras perdas ou danos. Todas as nossas vendas estão sujeitas às nossas condições gerais de venda, cuja leitura aconselhamos.

CIN - Corporação Industrial do Norte, S.A. - Av de Dom Mendo, nº 831 (antes EN13 km6) - 4474-009 Maia - Portugal - T +351 229 405 000 - customerservice@cin.com - Capital Social € 25.000.000 - C.R.C. da Maia / NIPC: 500 076 936
CIN Industrial Coatings, S.A. - Av. de Dom Mendo, nº 330 - 4474-009 Maia - Portugal - T +351 229 405 000 - customerservice@cin.com - Capital Social € 2.250.000 - C. R. C. da Maia / NIPC 504 160 583
Tintas Cin Angola, S.A. - R. Pedro Álvares Cabral, nº 21 - Cx Postal 788 - Benguela - Angola - T +244 222 397 527 - tcin@cinangola.co.ao - Cap.Soc. 10.000.320,00 Kz - Contrib. 5403076425 - C.R.C. Benguela nº 4.601, fls. 62, Livº E-22
Tintas Cin de Moçambique, S.A. - Av. das Indústrias, 2507 - Machava - Moçambique - T +258 21 748 012 - geral@cin.co.mz - Cap. Soc. 2.000.000,00 MT - NUIT 400006857 - C.R.C. Maputo nº 5.165, fls. 11, Livº C-14
CIN Valentine, S.A.U. - P. I. Can Milans - Riera Seca, 1 - 08110 Montcada i Reixac - España - T +34 93 565 66 00 - customerservice.es@cin.com - C. Soc. € 10.000.000 - CIF A-61356713 - Reg. M. Barcelona, T 44576, F 11, H B-160105, I. 59ª
Pinturas CIN Canárias, S.A.U. - P. I. Güimar, Manzana 13, Parcela 2 - 38509 Güimar - Tenerife - T +34 902 422 428 - aclientes@cincanarias.com - C. Soc. € 1.804.000 - CIF A38453817 - Reg. M. Sta Cruz Tenerife, T 1483, F 149, H TF-15033
CIN Celliose, S.A. - Chemin de la Verrerie - BP 58 - 69492 Pierre Bénite Cedex - France - T +33 (0) 4 72 39 77 77 - customerservice.fr@cin.com - C. Soc. € 2.215.755 - TVA FR07775643976 - RCS de Lyon B 775 643 976

4 SEGURANÇA, SAÚDE E AMBIENTE

Em geral evite o contacto com os olhos e a pele, use luvas, óculos de protecção e vestuário apropriado. Manter fora do alcance das crianças. Utilizar somente em locais bem ventilados. Não deitar os resíduos no esgoto. Conserve a embalagem bem fechada e em local apropriado. Assegure o transporte adequado do produto; previna qualquer acidente ou incidente que possa ocorrer durante o transporte nomeadamente a ruptura ou deterioração da embalagem. Mantenha a embalagem em local seguro e em posição correcta. Não utilize nem armazene o produto em condições extremas de temperatura. Deverá ter sempre em conta a legislação em vigor relativa a Ambiente, Higiene, Saúde e Segurança no trabalho. Para mais informações a leitura do rótulo da embalagem e da Ficha de Segurança do produto são fundamentais.

(a) Nos termos das Directivas 2010/75/UE e 2004/42/CE, este produto pode ser utilizado sem limitações nas actividades executadas numa instalação registada ou autorizada. As instalações de pequena dimensão não poderão aplicar este produto no revestimento de quaisquer componentes para edifícios.

(b) Para a cor verde (RAL 6011)

É aconselhável verificar periodicamente o estado de actualização do presente Boletim Técnico. A CIN assegura a conformidade dos seus produtos com as especificações constantes dos respectivos boletins técnicos. Os conselhos técnicos prestados pela CIN, antes ou depois da entrega dos produtos, são meramente indicativos, dados de boa-fé e constituem o seu melhor conhecimento, atento o estado actual da técnica, não podendo, em caso algum, responsabilizá-la. As reclamações apenas serão aceites relativamente a defeitos de fabrico ou não conformidades com a nota de encomenda. A única obrigação que incumbe à CIN será, respectivamente, a substituição ou devolução do preço já pago da mercadoria reconhecidamente defeituosa ou de reposição da encomenda, não aceitando outras responsabilidades por quaisquer outras perdas ou danos. Todas as nossas vendas estão sujeitas às nossas condições gerais de venda, cuja leitura aconselhamos.

CIN - Corporação Industrial do Norte, S.A. - Av de Dom Mendo, nº 831 (antes EN13 km6) - 4474-009 Maia - Portugal - T +351 229 405 000 - customerservice@cin.com - Capital Social € 25.000.000 - C.R.C. da Maia / NIPC: 500 076 936
CIN Industrial Coatings, S.A. - Av. de Dom Mendo, nº 330 - 4474-009 Maia - Portugal - T +351 229 405 000 - customerservice@cin.com - Capital Social € 2.250.000 - C. R. C. da Maia / NIPC 504 160 583
Tintas Cin Angola, S.A. - R. Pedro Álvares Cabral, nº 21 - Cx Postal 788 - Benguela - Angola - T +244 222 397 527 - tcin@cinangola.co.ao - Cap.Soc. 10.000.320,00 Kz - Contrib. 5403076425 - C.R.C. Benguela nº 4.601, fls. 62, Livº E-22
Tintas Cin de Moçambique, S.A. - Av. das Indústrias, 2507 - Machava - Moçambique - T +258 21 748 012 - geral@cin.co.mz - Cap. Soc. 2.000.000,00 MT - NUIT 400006857 - C.R.C. Maputo nº 5.165, fls. 11, Livº C-14
CIN Valentine, S.A.U. - P. I. Can Milans - Riera Seca, 1 - 08110 Montcada i Reixac - España - T +34 93 565 66 00 - customerservice.es@cin.com - C. Soc. € 10.000.000 - CIF A-61356713 - Reg. M. Barcelona, T 44576, F 11, H B-160105, I. 59ª
Pinturas CIN Canárias, S.A.U. - P. I. Güimar, Manzana 13, Parcela 2 - 38509 Güimar - Tenerife - T +34 902 422 428 - aclientes@cincanarias.com - C. Soc. € 1.804.000 - CIF A38453817 - Reg. M. Sta Cruz Tenerife, T 1483, F 149, H TF-15033
CIN Celliose, S.A. - Chemin de la Verrerie - BP 58 - 69492 Pierre Bénite Cedex - France - T +33 (0) 4 72 39 77 77 - customerservice.fr@cin.com - C. Soc. € 2.215.755 - TVA FR07775643976 - RCS de Lyon B 775 643 976