



Otimizações no processo para melhoria da qualidade de cerveja e de águas gasocarbónicas

JÉSSICA HELENA PEREIRA NUNES

julho de 2022



Otimizações no processo para melhoria da qualidade da cerveja e de águas gasocarbónicas

Jéssica Helena Pereira Nunes 1170946

Dissertação Submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Química, área de especialização de Qualidade

Orientadora do Super Bock Group: Joana Filipa Carvalho Vieira

Orientadora do ISEP: Doutora Albina Maria de Sá Ribeiro

Super Bock Group

Julho de 2022

Agradecimentos

Durante a execução da presente dissertação contei com o apoio e incentivo de vários, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização da mesma e a quem devo o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, à empresa Super Bock Group, pela oportunidade que me foi dada e pelo apoio financeiro concedido. Agradeço também às suas pessoas, por tão bem me terem acolhido.

À Joana Vieira, Técnica Superior de Qualidade do Super Bock Group e minha orientadora neste estágio, pelo constante apoio desde o primeiro momento, por ter sempre confiado nas minhas capacidades e por ter sido um pilar fundamental no meu crescimento individual e profissional.

Também à Doutora Albina Ribeiro, docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pela sua ajuda e disponibilidade durante o desenvolvimento da presente dissertação.

À restante equipa dos Serviços Técnicos e do Departamento de Qualidade Ambiente e Segurança, que também contribuíram para o sucesso do meu desempenho.

Aos operadores das linhas de enchimento do Super Bock Group, que me ajudaram sem exitar na realização dos ensaios experimentais e por me receberem sempre com um sorriso no rosto.

Aos docentes do ISEP, pelos ensinamentos e lições transmitidas ao longo dos últimos cinco anos.

Aos meus amigos de sempre e às amigas para a vida que a faculdade me deu.

Por fim, aos meus pais, que sempre estiveram presentes e sem os quais nada disto seria realidade.

Resumo

A presente dissertação foi realizada no Super Bock Group, tendo-se focado na realização de três projetos, que se dividiram em dois blocos. No primeiro bloco, incluem-se a “Validação do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula da linha 6” e o “Estudo da variabilidade de sinal do inspetor de caixas da linha 1”, enquanto o segundo se recai na “Análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular”. A escolha dos temas deriva da ambição do Super Bock Group de enviar para o mercado apenas produtos de qualidade, que garantam os requisitos legais e, ao mesmo tempo, contribuam para uma melhor experiência de consumo.

O primeiro tema visou a validação dos módulos de inspeção e do contador de rejeições de todos os programas do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula, tendo-se avaliado um total de 16 em 17 programas. Destes, validaram-se o contador de rejeições e os módulos de inspeção de pressão interna e formato de cápsula em todos os programas avaliados, enquanto se validou o módulo de inspeção de qualidade de impressão em 15 dos 16 programas.

Relativamente ao estudo da variabilidade de sinal sentida no inspetor de caixas da linha 1, percebeu-se que o problema era relativo ao rápido envelhecimento do cristal do recetor. Dos testes realizados, aferiu-se que quanto mais elevada a tara e/ou o número de garrafas por fila, menor o valor de sinal e que, independentemente do tempo do recetor, não foi possível a definição de um valor de *set-point standard* para cada formato. Assim, definiu-se, com base em dados estatísticos, que o *set-point* deveria ser 1,40 vezes igual ou superior ao valor médio de sinal para caixas conforme. Na impossibilidade deste ato, considerou-se que o recetor deveria ser alterado. Para estes dois projetos, os procedimentos desenvolvidos foram padronizados por meio de uma instrução de trabalho.

Por fim, no que concerne a análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas *Roll-On-Pilfer-Proof* (ROPP), verificou-se que o torque de garrafas frias foi significativamente superior ao torque de garrafas à temperatura ambiente. Com o tempo, constataram-se variações nos valores de torque, tendo estes sido próximos do limite superior de especificação interno (1,50 N.m). Por último, percebeu-se que no momento de consumo, a complexidade da abertura é consequência do *slip torque*, ou seja, da rotação inicial da cápsula.

Palavras-chave: validação, inspetor, pressão interna, capsulagem e torque.

Abstract

The present paper was elaborated at Super Bock Group and is divided into three themes that were divided into two topics. The first one includes the “Validation of the internal pressure and cap image inspector of line 6” and the “Signal variability study of the crate inspector of line 1”, while the second one is about the “Analysis of the variables related to the opening of ROPP caps in Água das Pedras Regular”. The themes result from Super Bock Group’s ambition to only send to the market quality products, which guarantee all legal requirements and, at the same time, lead to an overall better consumer experience.

The goal of the first topic was the validation of all programs present in the internal pressure and cap image inspector and their rejection counters. It was possible to evaluate a total of 16 out of 17 programs. Of these, all rejection counters and internal pressure and cap shape inspection modules were validated, while the print quality module only was validated in 15 programs.

Regarding the study of the signal variability felt in the line 1 crate inspector, the problem was related to the fast aging of the crystal present in the receptor. From the tests executed, it was possible to verify that the higher the capacity of the bottle and/or the number of bottles per row, the lower the signal. Also, regardless of the age of the receptor, it was not possible to define a standard set-point value for each format. Thus, based on statistical data, it was defined that the set-point should be 1,40 times equal to or greater than the average signal for OK crates. If this could not be done then, the receptor should be changed. The procedures of the last two projects were standardized into two different work instructions.

Finally, concerning the analysis of the variables related to the opening of Roll-On-Pilfer-Proof (ROPP) caps, it was found that the torque of cold bottles was significantly higher than the torque of bottles at room temperature. With time, the torque value changed to numbers close to the upper internal specification limit (1,50 N.m). Lastly, it was determined that in the moment of consumption, the opening barrier is related to the slip torque, which refers to the initial rotation of the cap.

Keywords: validation, inspector, internal pressure, capping and torque.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Super Bock Group	1
1.3. Objetivos e Metodologia.....	3
1.4. Estrutura da Dissertação	4
2. Fundamentos teóricos sobre cerveja e águas gasocarbónicas	5
2.1. História da cerveja	5
2.2. Conceitos gerais sobre cerveja.....	7
2.3. Cervejas do Super Bock Group	9
2.4. Produção de cerveja	12
2.4.1. Matérias-primas utilizadas na produção de cerveja.....	13
2.4.2. Processo produtivo da cerveja	14
2.5. Processo de enchimento de cerveja.....	18
2.5.1. Cápsulas e capsulagem	24
2.5.1.1. Cápsulas Coroa.....	25
2.5.1.2. Cápsulas Pull-Off	30
2.5.1.3. Cápsulas ROPP	30
2.6. Controlo de Qualidade da cerveja.....	33
2.6.1. Parâmetros que influenciam a qualidade da cerveja.....	33
2.7. Águas minerais naturais gasocarbónicas	35
2.7.1. Água das Pedras	36
2.8. Processo produtivo e de enchimento de Água das Pedras Regular	37
3. Validação dos programas de inspeção interna (pressão interna/imagem de cápsula e caixa)	39
3.1. Caracterização do problema.....	39
3.1.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula.....	39
3.1.2. Inspetor de caixas	43
3.2. Plano de ensaio e amostragem	47
3.2.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula.....	47
3.2.2. Inspetor de caixas	49
3.3. Metodologia experimental e materiais e equipamentos utilizados	50
3.3.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula.....	50
3.3.2. Inspetor de caixas	53

3.4. Resultados e análise de resultados	55
3.4.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula.....	55
3.4.2. Inspetor de caixas	61
4. Análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular	67
4.1. Caracterização do problema.....	67
4.2. Plano de ensaio e amostragem	69
4.3. Metodologia experimental e materiais e equipamentos utilizados	73
4.4. Resultados e análise de resultados	75
4.4.1. Ensaio 1 – Torque vs Temperatura de armazenamento.....	75
4.4.2. Ensaio 2 – Torque vs Equipamento de medição.....	79
4.4.3. Ensaio 3 – Torque vs Tempo	80
4.4.4. Ensaio 4 – Torque vs Capsulador	81
4.4.5. Ensaio 5 – Torque vs Cabeça de capsulagem	83
4.4.6. Teste de perceção.....	84
4.4.7. <i>Benchmarking</i> com marcas da concorrência	85
4.4.8. Testes preliminares à mudança das molas.....	86
5. Conclusões e propostas para trabalhos futuros	89
Bibliografia	93
Anexos.....	93
Anexo A: Validação dos programas de inspeção de pressão interna e de cápsula.....	99
Anexo B: Acompanhamento dos desvios do inspetor da linha 1	106
Anexo C: Análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular	109

Índice de figuras

Figura 1.1: Domicílios do Super Bock Group em Portugal Continental [2].	2
Figura 1.2: Esquema descritivo dos projetos elaborados, bem como os seus principais objetivos.	3
Figura 2.1: Monumento de Blau [7].	6
Figura 2.2: Diferentes estilos de cervejas do tipo Ale ou Lager [10].	7
Figura 2.3: Cervejas Super Bock [12].	10
Figura 2.4: Cervejas Super Bock Seleção 1927 [3].	10
Figura 2.5: Cervejas Coruja [15].	11
Figura 2.6: Cerveja Carlsberg [16].	11
Figura 2.7: Cerveja Cristal [3].	12
Figura 2.8: Cerveja Cheers branca [3].	12
Figura 2.9: Inflorescências do lúpulo [18].	14
Figura 2.10: Processo produtivo da cerveja [20].	16
Figura 2.11: Fluxograma do enchimento de cerveja em garrafas TP da linha 6.	19
Figura 2.12: Esquema representativo do enchimento da cerveja [23].	20
Figura 2.13: CIP aplicado ao sistema de enchimento [23].	24
Figura 2.14: Cápsula Coroa sem decoração [26].	25
Figura 2.15: Esquema representativo do modo de funcionamento de uma máquina de ordenação de cápsulas coroa [23].	27
Figura 2.16: Transferência da cápsula para a cabeça de capsulagem [23].	28
Figura 2.17: Curso do elemento de capsulagem durante a capsulagem [23].	28
Figura 2.18: Matriz de capsulagem usada em cápsulas coroa.	29
<i>Figura 2.19: Esquema representativo do conjunto cápsula + garrafa [25].</i>	29
Figura 2.20: Cápsula Pull-Off [27].	30
Figura 2.21: Cápsula ROPP sem decoração [29].	31
Figura 2.22: Posição da cabeça de capsulagem antes (a) e durante (b) a sua aplicação.	32
Figura 2.23: Corte de um conjunto cápsula ROPP + garrafa [28].	32
Figura 2.24: Quadro resumo das principais características do oxigénio, do dióxido de carbono e da espuma no que concerne a cerveja.	33
Figura 2.25: Pedras Salgadas, edição especial 150 anos [41].	37

Figura 3.1: Modo de funcionamento do módulo de inspeção de pressão interna com deteção SONIC.	41
Figura 3.2: Imagem de cápsula com cor esbatida (a), riscada (b) e com decoração descentrada (c).	42
Figura 3.3: Processo esquemático do funcionamento do inspetor de caixas.	43
Figura 3.4: Gráficos de sinal para uma caixa conforme (a) e não conforme (b).	44
Figura 3.5: Diagrama de Ishikawa sobre a variabilidade de sinal do inspetor de caixas sentida na linha 1.	45
Figura 3.6: Esquema representativo da variabilidade de sinal entre caixa completa e caixa com garrafa vazia/partida (a) e entre caixa completa e caixa sem garrafa (b) ao longo do tempo.	46
Figura 3.7: Posições de controlo definidas para caixa de 30 garrafas.	49
Figura 3.8: Imagens das cápsulas de SB s/ Glúten, com as zonas que foram identificadas pelo inspetor como NOK representadas a roxo.	59
Figura 3.9: Imagens das cápsulas de Cristal 0,33 L, com as zonas que foram identificadas pelo inspetor como NOK, depois de ajuste.	60
Figura 3.10: Teste realizado para caixa de 0,20x15 (a) e 0,20x24 (b) antes da troca do recetor.	62
Figura 3.11: Teste realizado para caixa de 0,20x15 após a troca do recetor.	63
Figura 3.12: Teste realizado para caixa 0,33x24 após troca do recetor, tendo sido o segundo teste (b) realizado 1 mês após o primeiro (a).	64
Figura 3.13: Teste realizado para caixa de 20x15 na L2 (a) e para caixa de 0,20x24 na L5 (b).	65
Figura 4.1: Diagrama de Ishikawa sobre a análise das variáveis relacionadas com a abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular.	67
Figura 4.2: Sentido do vetor resultante da aplicação de uma força, no perímetro de uma cápsula ROPP de uma garrafa de Água das Pedras Regular.	69
Figura 4.3: Média das medições de torque por cabeça de capsulagem em garrafas capsuladas com cápsulas ROPP AR armazenadas a frio e à temperatura ambiente.	76
Figura 4.4: Média das medições de torque em garrafas capsuladas com cápsulas ROPP AR, AS e BR, armazenadas a frio e à temperatura ambiente e respetivas barras de erro verticais representativas do desvio padrão.	77
Figura 4.5: Média das medições de torque em torquímetros diferentes por cabeça de capsulagem em garrafas capsuladas nas mesmas condições.	79

Figura 4.6: Média das medições de torque a frio e à temperatura ambiente, ao longo de 26 semanas.....	80
Figura 4.7: Média das medições de torque de amostras capsuladas na L1 do centro produtivo de Pedras Salgadas.....	82
Figura 4.8: Média das medições de torque de amostras capsuladas na L2 do centro produtivo de Pedras Salgadas.....	82
Figura 4.9: Média das medições de torque por cabeça de capsulagem e torque médio do capsulador para amostras capsuladas nas mesmas condições.....	83
Figura 4.10: Média das medições de torque para cada marca e média geral, contabilizando todos os resultados obtidos.....	86
Figura A.1: Danos de cápsula definidos que o inspetor de pressão interna e imagem de cápsula deve rejeitar.....	99
Figura A.2: Ferramenta rotativa portátil MaAnt D1 e brocas [42].....	100
Figura A.3: Comparação da inspeção de CS e PQ para o programa de Cristal 1 L ROPP. Esquema da cápsula de Cristal ROPP (a) e da cápsula de SB Original ROPP (b).	100
Figura A.4: Cápsula de SB STOUT (a) e cápsula de SB Negra Sin Alcool (b).	101
Figura A.5: Cápsula de SB Original IDR (a) e cápsula de SB s/ Álcool (b).	101
Figura A.6: Diâmetro inicial (a) e diâmetro final (b) para o programa de SB 0,0%.	102
Figura A.7: Imagens de cápsula de SB Original 0,25 L (a), cápsula de SB Original 0,33 L (b), cápsula de SB Original 0,66 L (c) e cápsula de SB Alumínio (d) que não foram rejeitadas pelo inspetor.....	102
Figura.A.8: Exemplo da proposta inicial para danos de cápsula com 5 riscos com 0,2 mm de espessura e 8 mm de comprimento (a) e com 5 riscos com 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento (b).	103
Figura A.9: Imagens de cápsula de SB Original 0,66 L onde apenas 3 dos 5 riscos foram detetados na íntegra (a) e onde foram todos detetados (b) e imagem de cápsula de SB Original ROPP, na qual apenas parte de 4 em 5 riscos foram detetados (c).	103
Figura A.10: Cápsula danificada na decoração com risco com 1,3 mm de espessura e 1 cm de comprimento sobre a palavra “BOCK”.	104
Figura A.11: Imagens das cápsulas de Cristal 0,33 L, com as zonas que foram identificadas pelo inspetor como NOK antes de ajuste ao PQ.....	104
Figura B.1: Posições de controlo definidas para caixa de 12, caixa de 15, caixa de 20 e caixa de 24.	105

Figura B.2: Distribuição normal com média igual a zero (0) e desvio-padrão igual a um (1) [3].	106
Figura B.3: Teste realizado para caixa de 0,20x24 antes da troca do recetor.	107
Figura B.4: Teste realizado para caixa de 0,33x24 antes da troca do recetor.	107
Figura B.5: Local de incidência do raio-X em garrafa SB 0,25 L e SB 0,33 L.	108
Figura C.1: Torquímetro Mecmesin Vortex-dV [4].	110
Figura C.2: Esquema representativo da localização dos botões “casa” e “play” no sistema de controlo do torquímetro considerado [4].	111
Figura C.3: Esquema representativo da localização do botão “zero” na unidade de medição de torque [4].	111
Figura C.4: Garrafa dinamométrica capsulada.	112
Figura C.5: Modo de medição da força vertical.	112
Figura C.6: Gráfico de bigodes e teste de Shapiro-Wilk para a deteção de outliers e a verificação da normalidade dos resultados obtidos no ensaio 1.	113
Figura C.7: Gráfico de bigodes e teste de Shapiro-Wilk para a deteção de outliers e a verificação da normalidade dos resultados obtidos no ensaio 2.	114
Figura C.8: Classificações atribuídas de 1 a 5 pelos participantes do ensaio de perceção realizado em Leça do Balio, para amostras à temperatura ambiente e amostras frias. ..	117
Figura C.9: Cápsula Talog [5].	117
Figura C.10: Torquímetro Mecmesin 876-101 Tornado [6].	118
Figura C.11: Molas de 200 kgf e 220 kgf, compatíveis com equipamentos diferentes. ..	119

Lista de Siglas e Acrónimos

AR: Cápsulas do fornecedor A com *liner* Regular

AS: Cápsulas do fornecedor A com *liner* Sabores

BR: Cápsulas do fornecedor B com *liner* Regular

CIP: *Clean-in-place*

CS: *Cap Shape*

F: Força aplicada

H0: Hipótese nula

H1: Hipótese alternativa

ISEP: Instituto Superior de Engenharia do Porto

L1: Linha 1

L2: Linha 2

L5: Linha 5

L6: Linha 6

LB: Leça do Balio

LSE: Limite superior de especificação

PET: Politereftalato de etileno

PI: Pressão Interna

PQ: *Print Quality*

PS: Pedras Salgadas

r: Distância entre o eixo rotacional e a zona onde F é aplicada

ROPP: *Roll-on-Pilfer-Proof*

SB: *Super Bock*

τ : Torque

T1: Torquímetro 1

T2: Torquímetro 2

T3: Torquímetro 3

TA: Temperatura ambiente

TFS: *Tin Free Steel*

TP: Tara Perdida

TR: Tara Retornáve

1. Introdução

No primeiro capítulo será descrito o enquadramento da dissertação, uma breve contextualização sobre o Super Bock Group, assim como os objetivos propostos e as metodologias adotadas. Por fim será apresentada uma síntese de cada capítulo.

1.1. Enquadramento

A presente dissertação foi elaborada no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Química, área de especialização de Qualidade, do Instituto Superior de Engenharia do Porto como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química.

O estágio foi efetuado na sede do Super Bock Group em Leça do Balio (LB), nomeadamente nos Serviços Técnicos do departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança, ao longo de 9 meses, de 2 de novembro de 2021 a 31 de julho de 2022, abrangendo o primeiro e segundo semestres do segundo ano do Mestrado mencionado. No primeiro semestre foi cumprido um horário parcial de oito horas por semana, definido de acordo com a disponibilidade do estagiário e orientador, cumprindo-se o horário normal da empresa no segundo semestre.

1.2. Super Bock Group

O Super Bock Group é o líder no setor de bebidas em Portugal, focando o seu negócio em Cervejas e Águas engarrafadas, mas estando igualmente presente no mercado dos Refrigerantes, Sidras, Vinhos e Sangrias, na comercialização de malte e no negócio do Turismo [1].

A história do Super Bock Group remonta a 1890, ano em que se deu a constituição da empresa, tendo sido apresentada ao público como Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes. Até aos dias de hoje, o grupo contou com várias conquistas e alterações do seu nome, passando por Unicer Bebidas, S.A. até à designação atual, Super Bock Group, desde 2017. A estrutura acionista do grupo é de capital maioritariamente português, sendo detida em 56% pelo Grupo VIACER e em 44% pelo Grupo Dinamarquês Carlsberg [1]. A empresa tem sede em Leça do Balio, Matosinhos, mas apresenta uma variedade de domicílios espalhados pelo país, como é perceptível pela figura 1.1.



Figura 1.1: Domicílios do Super Bock Group em Portugal Continental [2].

Relativamente a marcas, o Super Bock Group detém as cervejas *Super Bock* (SB), *Super Bock Seleção 1927*, *Coruja*, *Carlsberg*, *Cristal* e *Cheers*, a sidra *Somersby*, as águas *Vitalis*, *Água das Pedras*, *Melgaço* e *Vidago*, os refrigerantes *Frutea*, *Frisumo*, *Frutis*, *Guaraná Brasil* e *Snappy*, os vinhos *Monte Sacro*, *Planura*, *Vinha de Mazouco* e *Vini Branco* e as sangrias *Vini* [3].

A visão da empresa assenta na “Paixão Local e Ambição Global”, traduzindo a confiança nas pessoas e a paixão pelas suas marcas, mas ambicionando sempre chegar mais longe. Por esse motivo, detém instalações próprias, com foco em vendas, no estrangeiro, particularmente em África, Ásia e Europa, estando presente em mais de 50 países. Dados do ano 2020, mostram que o Super Bock Group, com a ajuda dos seus cerca de 1300 colaboradores, vendeu 416 milhões de litros, sendo que 70 milhões foram vendidos no mercado internacional, faturando sensivelmente 380 milhões de euros [4].

Como mencionado no subcapítulo 1.1, o presente trabalho foi elaborado no âmbito de um estágio curricular realizado nos Serviços Técnicos do Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança do Super Bock Group. O principal objetivo desta divisão é garantir a qualidade do processo e do produto, focando-se na satisfação e fidelização do cliente e na prosperidade do Grupo no mercado. Este setor, ainda que localizado nas instalações de Leça do Balio, assiste qualquer outro centro produtivo da empresa.

1.3. Objetivos e Metodologia

O principal objetivo do estágio curricular que levou ao desenvolvimento da presente dissertação prende-se com a garantia de que o Super Bock Group lança para o mercado produto de qualidade, neste caso cerveja e Água das Pedras Regular. Para esse efeito, o estágio curricular efetuado foi dividido em dois blocos, que se encontram descritos de forma sucinta na figura 1.2.

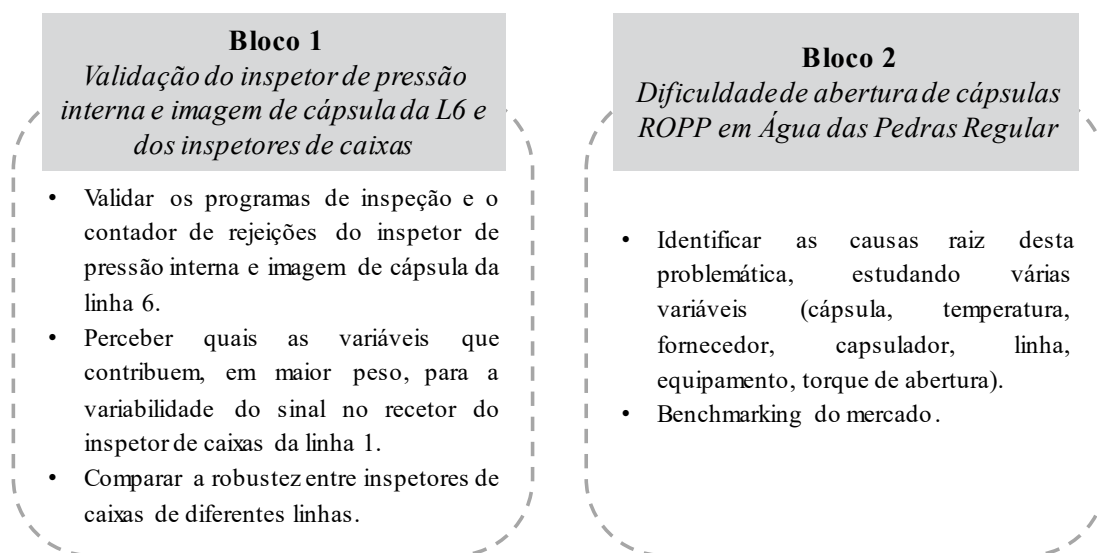


Figura 1.2: Esquema descritivo dos projetos elaborados, bem como os seus principais objetivos.

O primeiro projeto relaciona-se com a validação dos programas de inspeção do inspetor de pressão interna e cápsula da linha 6 (L6). Este inspetor tem como função garantir que o sistema *cápsula + garrafa* se encontra isolado, isto é, garante que não há perda de dióxido de carbono (CO₂) e que a entrada de oxigénio (O₂) é mínima. Simultaneamente, inspeciona a qualidade da cápsula, que se pode traduzir em defeitos na decoração e na possibilidade de estarem a ser usadas cápsulas erradas. O inspetor em avaliação torna-se de grande importância nas linhas de enchimento uma vez que tem impacto direto na qualidade do produto no mercado, tanto pela garantia de uma cerveja/sidra com os parâmetros de qualidade desejados, mas também porque garante a qualidade da imagem da marca. Dessa forma, avaliou-se a pressão interna do líquido (PI), o formato da cápsula (*Cap Shape* - CS) e a qualidade de impressão da cápsula (*Print Quality* - PQ) pela passagem de garrafas teste pelo inspetor.

Ademais, no primeiro bloco, também se inclui o projeto sobre o acompanhamento dos desvios do inspetor de caixas da linha 1 (L1). Os inspetores de caixas inspecionam se

a caixa está completa, ou seja, se o número de garrafas é o pretendido, se a caixa é efetivamente a adequada ao conteúdo e se esta apresenta marcação de data de validade. A presença destes equipamentos, à semelhança do inspetor de pressão interna e cápsula, tem um impacto direto na imagem da marca, ao assegurar a passagem de caixas adequadas e completas para o mercado. De modo a avaliar o programa de inspeção de caixa completa, passaram-se pelos inspetores caixas de diferentes formatos sem uma garrafa, com uma garrafa vazia ou com uma garrafa partida em diferentes posições.

No segundo bloco, que surgiu do interesse pela análise da abertura de cápsulas *Roll-on-Pilfer-Proof* (ROPP) em Água das Pedras Regular, de modo a perceber quais as variáveis mais impactantes deste tema, realizou-se uma análise de causas, onde foram identificadas várias variáveis para estudo, entre as quais cápsula, temperatura de armazenamento, fornecedor de cápsula, capsulador, linha de produção, equipamento de medição, torque de aplicação e de remoção. Adicionalmente realizou-se um *focus group* para uma perceção mais correta do tema e um *benchmarking* das diferentes marcas de águas gasocarbónicas vendidas no mercado.

1.4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. O primeiro capítulo inicia-se com um enquadramento da dissertação/estágio, uma breve descrição do Super Bock Group e a enumeração dos objetivos do trabalho e respetiva metodologia utilizada. No segundo capítulo descreveram-se noções teóricas sobre Cerveja e Águas Gasocarbónicas, indispensáveis à compreensão total dos temas da dissertação.

Os projetos mencionados foram distribuídos pelos capítulos 3, e 4 que englobam a caracterização do problema em causa, o plano de ensaio e amostragem realizados, os materiais e equipamentos utilizados, os métodos experimentais aplicados, bem como os resultados e a sua análise. Note-se ainda que o 3º capítulo engloba os temas relacionados com inspetores, nomeadamente a “Validação do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula da linha 6” e o “Estudo da variabilidade de sinal do inspetor de caixas da linha 1”.

Finalmente, no 5º e último capítulo são apresentadas as conclusões dos mesmos, e propostas para trabalhos futuros relativamente a cada projeto.

2. Fundamentos teóricos sobre cerveja e águas gasocarbónicas

No presente capítulo serão detalhados conceitos fundamentais à compreensão e execução desta dissertação no que diz respeito aos objetivos relacionados com as características organoléticas e sensoriais da cerveja e com o seu sistema produtivo para a validação dos programas de inspeção interna e com o estudo das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular. Inicialmente é apresentada uma breve história do aparecimento da cerveja no mundo e de aspetos pertinentes sobre a mesma, enquanto o final deste tema será focado no processo produtivo da cerveja e no seu controlo de qualidade. Para além disso, compreende ainda uma explicação sobre águas gasocarbónicas, dando-se destaque a Água das Pedras, bem como o processo produtivo e de enchimento das garrafas.

2.1. História da cerveja

A cerveja é uma palavra latina oriunda de *cerevisiae*, em homenagem a Ceres, deusa romana das plantas que brotam. Trata-se da bebida alcoólica mais consumida no mundo, que resulta da fermentação alcoólica de uma mistura de água, cereais (malte) e lúpulo realizada por leveduras selecionadas para o efeito [5].

A influência da cerveja nas alterações da sociedade é algo amplamente estudado, mostrando o seu percurso uma data de acontecimentos semelhantes aos dos dias de hoje. Não se sabe ao certo o início da sua história, tornando-se difícil especificar quando surgiu pela primeira vez. Pensa-se que o seu aparecimento remonte a cerca de 10000 anos atrás, e tenha coincidido com o momento em que o ser humano abandonou as práticas nómadas e adotou técnicas de agricultura e armazenamento de grãos, permitindo-lhe assentar sem ter a necessidade de obter alimento [5, 6].

O surgimento da cerveja acontece nesse contexto, provavelmente acidentalmente, com o armazenamento de grãos de cereais em vasos de barro deixados ao ambiente, humedecidos pela chuva e que aqueceram, libertando o amido dos cereais. Para a obtenção de cerveja é necessário que microrganismos como as leveduras realizem a fermentação alcoólica dos açúcares fermentescíveis. Acredita-se que esse processo se possa ter dado pelo desenvolvimento de microrganismos, presentes no meio, na mistura de grãos humedecida [5].

Os registos de cerveja mais antigos referem que o povo Sumérico terá descoberto, por acidente, o processo de fermentação. E, tendo sido capazes de o replicar, são

considerados como os primeiros produtores cervejeiros. Algumas inscrições feitas em pedras mostram a importância desta bebida para estes povos [6]. Na figura 2.1 apresenta-se uma imagem de uma peça conhecida como Monumento de Blau, que data a 3600 a.C., onde se observa a cerveja a ser oferecida à deusa Nin-Harra [7].



Figura 2.1: Monumento de Blau [7].

Pela conquista do Egito pelos Gregos, a prática de produção de cerveja foi transmitida a esses povos, tendo sido mais tarde expandida também aos romanos, no entanto, a cerveja era tida como uma bebida de grandeza inferior ao vinho. Após ocorrerem grandes desenvolvimentos nas técnicas da sua produção pelos monges, na Idade Média, a cerveja voltou a adquirir grande popularidade. Já em Portugal, tradicionalmente se conta que Lísias, filho de Baco, trouxe a cerveja para a antiga Lusitânia e ensinou os povos a produzi-la a partir de cevada e trigo [6, 8].

Após a Idade Média, descobertas e invenções, como a máquina de vapor e a refrigeração artificial, permitiram uma melhoria na técnica produtiva e armazenamento da cerveja [6]. Também, a Revolução Industrial no século XVIII levou à produção em larga escala e a um aumento do consumo da cerveja. No século XIX, as descobertas de Louis Pasteur permitiram elevar o processo produtivo através da introdução da pasteurização [9].

Espontaneamente, a cerveja foi-se difundindo pelas sociedades modernas, podendo encontrar-se atualmente vários tipos e processos produtivos de cerveja capazes de satisfazer os requisitos e gostos do consumidor [6].

2.2. Conceitos gerais sobre cerveja

As cervejas podem ser designadas segundo as suas características organoléticas, dividindo-se em cervejas de fermentação alta ou *Ale* e cervejas de fermentação baixa ou *Lager*. O que difere uma cerveja *Ale* de uma *Lager* é a temperatura de fermentação. No caso das cervejas *Ale* a fermentação dá-se a temperaturas altas, normalmente entre 15 °C e 24 °C, ficando a levedura na superfície da cerveja. Já para a fermentação das *Lager* é necessária uma temperatura inferior, entre 8 °C e 14 °C, resultando na deposição da levedura no fundo do fermentador [9].

Como consequência, as cervejas *Ale* denotam uma gama de aromas e sabores mais ampla e complexa, derivado da ação das leveduras, enquanto as *Lager* possuem um sabor mais limpo derivado dos cereais e do lúpulo usados na sua produção [9]. Na figura 2.2 é possível observar os vários estilos de cerveja dependendo do tipo, ou seja, se se trata de cerveja *Ale* ou *Lager*.



Figura 2.2: Diferentes estilos de cervejas do tipo Ale ou Lager [10].

Entre as cervejas *Ale* apresentadas na figura 2.2, destacam-se a cerveja *STOUT* com uma coloração intensa e certa doçura, a cerveja *Porter* também com coloração intensa, mas sabor amargo e baixo teor alcoólico e as cervejas de trigo ou *Wheat Beer* com características opostas às anteriores [10].

As *Pilsener*, *Munich*, *Dortmunder* e *Bock* são as cervejas *Lager* mais conhecidas. As *Pilsener* são claras, secas e bastante amargas e as *Munich*, típicas da cidade de Munique, ostentam um tom escuro, são pouco lupuladas e apresentam um baixo teor alcoólico. Já as *Dortmunder* revelam características intermédias das anteriores.

Finalmente, as *Bock*, originárias da cidade de Einbeck na Alemanha, são cervejas de cor intensa ou clara, encorpadas e lupuladas [10].

É possível, apenas pelas características de uma cerveja, identificar o seu tipo e estilo, uma vez que apresentam aspetos específicos individuais [9]. Das características mais comuns distinguem-se o extrato primitivo, a atenuação, o teor alcoólico, o amargor, a cor, o teor de dióxido de carbono, a espuma, o aroma e o corpo.

O extrato primitivo pode ser quantificado em graus Plato, °P, e corresponde à concentração de sólidos, como açúcares e proteínas, presentes no mosto antes da fermentação. A atenuação relaciona-se com o extrato primitivo pois corresponde à redução, em percentagem, do extrato primitivo para o extrato final real (após fermentação do mosto) [11].

Relativamente ao teor alcoólico, este expressa-se em percentagem de volume e resulta da fermentação dos açúcares presentes no mosto. Para além disso, também se relaciona com a temperatura e com as leveduras selecionadas para a fermentação. Atualmente, é exequível a produção de cervejas com baixos teores alcoólicos, sendo consideradas cervejas sem álcool até um valor máximo de 0,5%, segundo a legislação portuguesa [9, 11].

O amargor da cerveja depende da quantidade de lúpulo adicionada ao mosto e é tanto maior quanto maior for a quantidade adicionada. Por outro lado, a sua cor depende essencialmente do malte utilizado, nomeadamente do grau de secagem e torração. A cor pode variar entre pálido, branco, dourado, vermelho, castanho e preto [9, 11].

O dióxido de carbono é uma das características mais importantes da cerveja, que resulta do processo de fermentação alcoólica dos açúcares presentes no mosto. Este composto fica dissolvido na cerveja após fermentação, mas pode libertar-se tanto mais facilmente da cerveja quanto mais elevada for a temperatura da vizinhança [9, 11].

A espuma é também considerada uma das características mais abundantes da cerveja. Trata-se de uma aglomeração de “bolhas” de dióxido de carbono revestidas por proteínas provenientes do malte. A espuma deve ser abundante, estável e apresentar uma textura cremosa [9]. No subcapítulo 2.6 este tópico será mais aprofundado.

As cervejas são ricas em aromas e gostos diversos. Estes resultam da presença, composição e concentração de compostos voláteis que, por sua vez, dependem das

matérias-primas, do processo de fabrico e do tipo de levedura escolhida [9, 11]. Ao ser consumida, a cerveja provoca um conjunto de sensações que diferem com as características de cada tipo de cerveja [9].

Por fim, destaca-se o corpo de uma cerveja que permite detalhar a forma como a cerveja estimula o palato. Esta característica é determinada pelos níveis de açúcar e de compostos azotados resultantes da decomposição das proteínas da cevada. Podendo ser classificado desde “aguado” ou “descaracterizado” até “saciante” ou “espesso” ou “encorpado” [11].

2.3. Cervejas do Super Bock Group

Como mencionado no subcapítulo 1.2, o Super Bock Group detém 6 marcas diferentes de cerveja, a *Super Bock*, a *Super Bock Seleção 1927*, a *Coruja*, a *Carlsberg*, a *Cristal* e a *Cheers*, sendo que cada marca apresenta um leque de diferentes tipos de cerveja para cativar diferentes consumidores. É também importante notar que, dependendo do país de comercialização, podem existir cervejas diferentes para apelar aos gostos e costumes dos consumidores locais.

Relativamente à *Super Bock*, a marca foi criada a 9 de novembro de 1927, sendo uma das marcas de cerveja mais antigas e mais conhecidas em Portugal. No nome *Super Bock*, o adjetivo *Super* remete para excelência no que diz respeito à qualidade, e *Bock* corresponde a um tipo de cerveja *Lager* de cor escura e sabor intenso. No entanto, devido à expansão do mercado e a alterações no gosto dos consumidores, a cerveja *Super Bock* tradicional converteu-se para um estilo *Pilsner*, com cor dourada e luminosa, mas permanecendo do tipo *Lager* [6].

De uma forma geral, a cerveja *Super Bock* apresenta-se visualmente como uma cerveja loira, com aspeto vivo e brilhante, espuma muito branca e cremosa. No que concerne às características organoléticas, apresenta normalmente um aroma a malte, fresco e ligeiramente frutado, de corpo médio e fim de boca ligeiro e seco [6]. Na empresa são produzidas, em Portugal, 11 cervejas *Super Bock* diferentes, *Super Bock Original*, *Super Free* sem Álcool, *Super Bock Alc. 0,0% Vol*, *Super Bock* sem Glúten, *Super Bock STOUT* (cerveja preta), *Super Bock Free* sem Álcool Preta, *Super Bock Green* (sabor a limão), *Super Bock Abadia* (notas de malte e caramelo), *Super Bock Oktober Edition Helles* (Estilo *Munich Helles*), *Super Bock Christmas Brew* (cerveja de duplo malte,

edição de Natal) e *Super Bock Gold* [3]. Na figura 2.3 encontram-se alguns exemplos das cervejas *Super Bock* mencionadas.



Figura 2.3: Cervejas *Super Bock* [12].

Em homenagem ao ano de lançamento da marca *Super Bock*, 1927, foi apresentada ao público em 2016, a gama *Super Bock Seleção 1927* composta por 4 cervejas (*Munich Dunkel*, *Bavaria Weiss*, *Bengal Ambar IPA* e *Czech Golden Lager*) [8]. Estas são marcadas por uma imagem e embalagem mais *premium* e dirigida a ser consumida em ambiente de refeição. Para além destas cervejas, foram lançadas em 2021 uma edição limitada de cervejas envelhecidas em barrica com um teor alcoólico mais elevado [3]. Na figura 2.4 são apresentadas as cervejas da gama permanente mencionadas.



Figura 2.4: Cervejas *Super Bock Seleção 1927* [3].

Em 2018, o *Super Bock Group* lançou uma nova marca de cerveja, de nome *Coruja* devido às características marcantes deste animal, que simbolizam o conhecimento e o mistério [13]. A *Coruja* encontra-se permanentemente com três estilos distintos *American Amber Lager*, *IPA India Pale Ale* e *Double IPA*, caracterizados por um intenso

sabor a lúpulo, uma vez que se utiliza a técnica *dry hopping*. Esta técnica consiste na adição do lúpulo a frio durante a maturação da cerveja [14]. Na figura 2.5 são apresentadas as cervejas *Coruja* comercializadas em Portugal.



Figura 2.5: Cervejas *Coruja* [15].

A *Carlsberg* (figura 2.6) é uma cerveja de origem dinamarquesa do estilo *Pilsner* com um teor alcoólico de 5% (v/v), tratando-se de uma cerveja aromática, refrescante e com sabor e aroma distintos a lúpulo. Esta cerveja foi lançada em 1902, embora a empresa *Carlsberg* tenha sido fundada em 1847 [16].



Figura 2.6: Cerveja *Carlsberg* [16].

As cervejas da marca *Cristal* foram as primeiras a serem comercializadas pelo Super Bock Group, em 1903, e ainda hoje são muito conhecidas entre os portugueses devido ao seu sabor mais leve com um aroma ligeiramente frutado e com notas de malte

[3, 8]. Trata-se de uma cerveja de cor clara, espuma abundante, estável e branca [3]. Na figura 2.7 apresenta-se uma imagem da cerveja *Cristal*.



Figura 2.7: Cerveja Cristal [3].

Finalmente, a marca *Cheers* foi lançada em 1992, tratando-se da primeira marca de cervejas sem álcool comercializada em Portugal e compreende duas cervejas, branca e preta. A cerveja branca tem uma tonalidade brilhante, espuma branca e muito estável, é doce e leve e apresenta aromas a cereais e a mosto. Por sua vez, a cerveja *Cheers* preta tem uma tonalidade mais escura e espuma muito cremosa, é doce e leve como a *Cheers* branca e denota um aroma a cereais e caramelo. Na figura 2.8 apresenta-se o aspeto da cerveja *Cheers* branca.



Figura 2.8: Cerveja Cheers branca [3].

2.4. Produção de cerveja

A produção de cerveja tem por base diversos ramos da ciência como a química, bioquímica e microbiologia, e, dependendo da prática, pode diferir na organização das etapas produtivas. Neste caso, a metodologia adotada foi a praticada no Super Bock

Group, que segue a seguinte sequência, moagem, brassagem, filtração do mosto, fermentação, maturação e estabilização, clarificação e enchimento [9].

2.4.1. Matérias-primas utilizadas na produção de cerveja

No que concerne a produção de cerveja, as matérias-primas utilizadas são água, malte, complementos do malte ou cereais não maltados, lúpulo e levedura.

A água é considerada como o principal ingrediente da cerveja, já que constitui cerca de 90% da mesma [6]. Para ser utilizada no processo produtivo desta bebida, é necessário que a água apresente uma composição mineralógica adequada, seja potável e inócua, não contenha ferro e seja dura, ou seja, contenha um elevado teor de cálcio e magnésio, que servem como nutrientes para as leveduras. É também relevante que o pH da água seja apropriado, de modo a potenciar a ação enzimática para transformação do amido em açúcares fermentescíveis [17].

Para produzir 1 litro de cerveja são necessários cerca de 10 litros de água e, como se trata de um componente tão importante, pode até condicionar o local da instalação da produção. São utilizados três tipos de água, a água cervejeira que entra no processo produtivo (entre 4 e 5 litros por cada 1 litro de cerveja), água industrial utilizada nas lavagens e na higienização e água de utilidades para refrigeração, por exemplo. As características da água usada também podem ter impacto nas características do produto final. Toma-se como exemplo o caso da cerveja do tipo *Pilsen* que se tornou famosa devido à água utilizada apresentar baixa salinidade [17].

Relativamente ao malte, este é obtido pela maltagem, na qual se dá a transformação do cereal, normalmente cevada, em malte. O processo de maltagem pode ser conduzido de diversas formas, obtendo-se diferentes tipos de malte e, conseqüentemente, cervejas com diferentes características. O malte corresponde à fonte de proteínas responsáveis pela espuma e à fonte de compostos azotados e açúcares responsáveis pela coloração e perfil aromático da cerveja [6].

Adicionalmente ao malte, também podem ser utilizados complementos (enzimas, açúcares na forma de cristais ou xaropes) ou cereais não maltados (grãos crus ou “*gritz*”, provenientes do milho ou do trigo) que proporcionam material fermentescível adicional ao mosto. O “*gritz*”, contrariamente ao malte, não contém enzimas e apresenta um elevado teor de amido, que reduzirá a probabilidade de formação de precipitados na cerveja após fermentação, minimizando a turvação da cerveja final [6, 17].

O lúpulo, *Humulus lupulus*, é obtido da lupulina, podendo ser comercializado sob a forma de flores secas, pó ou extrato para preservar as suas propriedades. Na figura 2.9 pode ser observada uma imagem das inflorescências do lúpulo.



Figura 2.9: Inflorescências do lúpulo [18].

O lúpulo é constituído por substâncias amargas, polifenóis, proteínas e minerais, sendo responsável pelo aroma e amargo característicos da cerveja. Para além disso, também contribui para a boa formação e estabilização da espuma e protege a cerveja de contaminações microbiológicas. O lúpulo pode ainda ser classificado em lúpulo do aroma e lúpulo do amargo, dependendo do seu teor em resinas e óleos essenciais [6, 9].

Finalmente, a levedura trata-se do ingrediente responsável pela fermentação alcoólica, na ausência de ar, na qual os açúcares fermentescíveis são convertidos em álcool e dióxido de carbono. A levedura escolhida para esta etapa deve permanecer em suspensão durante a fase ativa da fermentação e, posteriormente, flocular. Para além disso, também devem ser geneticamente estáveis, devem crescer rapidamente, devem estar disponíveis em cultura pura e não ser nocivas para o homem, animais ou plantas. Na produção de cerveja usam-se apenas leveduras do género *Sacharomyces* e, dependendo se a fermentação é alta ou baixa, utiliza-se *Sacharomyces cerevisiae* ou *Sacharomyces uvarum*, respetivamente [6].

2.4.2. Processo produtivo da cerveja

Como referido anteriormente neste subcapítulo, o processo produtivo da cerveja engloba a moagem, a brassagem, a filtração do mosto, a ebulição do mosto, a fermentação, a maturação e a estabilização, a clarificação e o enchimento. Antes da

moagem, é fundamental mencionar o processo de obtenção do malte, a maltagem, que, por sua vez, é composto pela maceração ou molha, pela germinação e pela secagem.

O objetivo da maceração ou molha é fornecer ao cereal, normalmente a cevada, um grau de humidade suficiente para a germinação. Para tal, a cevada permanece em contacto com água durante 3 a 5 dias até atingir o teor de humidade pretendido (entre 43% e 46%) a uma temperatura entre 10 °C e 12 °C. Nesta etapa, o grão de cevada, inicialmente rígido, torna-se friável devido à alteração enzimática da matriz proteica e dos grânulos de amido [19].

Relativamente à germinação, esta tem como finalidade o desenvolvimento intenso de enzimas que degradam as paredes celulares das células do endosperma (constituente do grão). A germinação dá-se entre 12 °C e 18 °C durante 4 a 6 dias, em caixas de germinação na presença de ar, e termina quando o tamanho do grão atinge cerca de 75% do tamanho inicial [19].

A secagem tem como principais objetivos a paragem da germinação, a coloração do malte e a redução da humidade até um nível ideal (cerca de 4%), para garantir o armazenamento do cereal maltado. Esta etapa pode ser dividida em duas fases, a pré-secagem e a cura. Na pré-secagem há a redução da humidade até valores entre cerca de 8% e 12%, dando-se durante 20 minutos com a temperatura a aumentar de 20 °C até 70 °C. Já na cura, há um aumento da temperatura até 95 °C durante 2 a 3 minutos (cervejas do tipo *Lager*) ou durante 5 minutos (cervejas do tipo *Ale*) [19]. Posto isto, na figura 2.10 encontra-se um esquema ilustrativo do processo produtivo da cerveja, com início na preparação do malte e conclusão no enchimento.

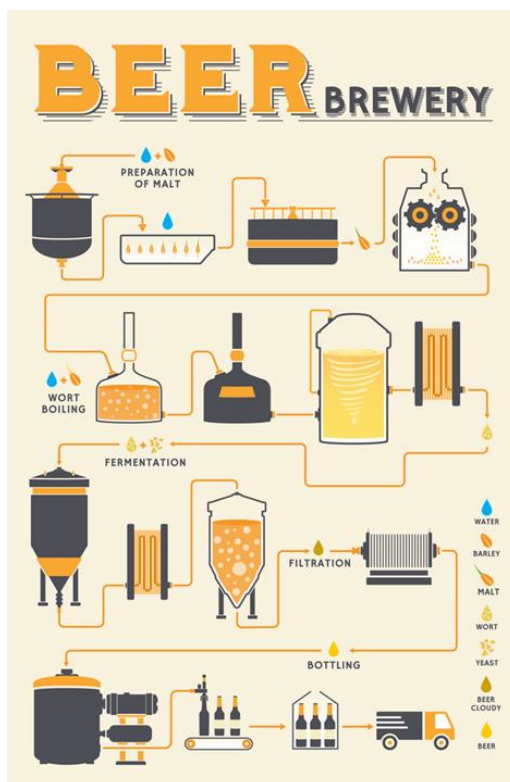


Figura 2.10: Processo produtivo da cerveja [20].

Inicialmente o malte e outros cereais não maltados são limpos de modo a remover possíveis impurezas. De seguida, e de modo a facilitar a extração e conversão dos componentes do malte, este é moído, obtendo-se uma farinha grossa com uma distribuição granulométrica adequada às etapas subsequentes [6, 9].

A brassagem possibilita o desdobramento de moléculas mais complexas, como amido e proteínas, em moléculas mais simples e solúveis pela ação das enzimas formadas na maltagem. Este processo dá-se durante 2 a 4 horas em condições operatórias pertinentes ao tipo de cerveja a produzir e termina quando se atinge uma temperatura próxima de 75 °C. Nesta etapa também se dá a libertação dos açúcares presentes no cereal (sacarificação) [9].

Posteriormente à brassagem, realiza-se uma filtração do mosto de modo a separar a matéria em suspensão do filtrado. Este passo realiza-se pela entrada de água à mesma temperatura do mosto, passando a mistura por um filtro de prensas ou por uma cuba filtro, durante 2 a 3 horas [9].

O mosto filtrado é levado à ebulição durante cerca de 2 horas. Os principais objetivos desta etapa são a solubilização dos compostos aromáticos e das substâncias amargas do lúpulo, a volatilização de substâncias indesejáveis, a esterilização do mosto,

a inativação de enzimas, a precipitação de proteínas com elevado peso molecular e a fixação da concentração final do mosto [6, 9].

Também é nesta fase que se adiciona o lúpulo ao mosto, sendo que o teor aromático ou amargo depende do momento que se dá a sua adição. Se o lúpulo for amargo será adicionado no início da ebulição para que os α -ácidos presentes no lúpulo isomerizem a iso- α -ácidos, proporcionando um sabor amargo ao líquido. No caso de se tratar de lúpulo do aroma será adicionado no fim da ebulição, uma vez que contém substâncias voláteis mais delicadas, conferindo dessa forma os aromas do lúpulo à cerveja final [6].

A fermentação é a etapa mais importante do processo produtivo, pois é nesta que os açúcares fermentescíveis presentes no mosto são fermentados pelas leveduras, originando álcool e dióxido de carbono. Os açúcares presentes no mosto podem ser fermentescíveis ou não fermentescíveis, sendo que apenas os primeiros são metabolizados pelas leveduras. Os principais açúcares do mosto são a maltose, a sacarose, a glucose, a frutose, a maltotriose e as dextrinas. Outros componentes do mosto como aminoácidos e peptídeos funcionam como fonte de azoto e as proteínas conferem espuma à cerveja [6].

Antes da fermentação é importante arrefecer o mosto e saturá-lo com oxigénio, para promover o início do crescimento das leveduras. Após este processo, a cultura de leveduras adequada ao tipo de cerveja que se deseja produzir é adicionada ao mosto (sementeira) e a fermentação inicia-se, subsistindo cerca de 7 dias. No princípio dá-se um crescimento exponencial das leveduras, tornando-se depois este crescimento mais lento até que cessa e as leveduras se depositem no fundo do fermentador (fermentação baixa) ou permaneçam na superfície da cerveja (fermentação alta) [9].

Após a fermentação dá-se a maturação da cerveja e a estabilização coloidal da mesma. Na primeira, a cerveja permanece estagnada a temperaturas adequadas para que se dê a libertação de compostos voláteis indesejáveis. No que diz respeito à estabilização, esta dá-se a temperaturas entre 0 °C e 2 °C, para permitir a estabilização coloidal da cerveja [9]. Esta estabilização é alcançada pela eliminação de complexos formados entre as proteínas e os taninos, que precipitam a baixas temperaturas [6].

Antes do enchimento é necessário proceder-se à eliminação de alguns componentes que ainda se possam encontrar em suspensão. Para tal, na clarificação, a

cerveja é bombeada através de um filtro adequado. Deste modo, finalmente, a cerveja será armazenada em tanques e estará pronta para a etapa de enchimento que será desenvolvida no subcapítulo 2.5 [6, 9].

2.5. Processo de enchimento de cerveja

O enchimento corresponde à etapa final do processo produtivo da cerveja, podendo esta ser acondicionada em diferentes embalagens (garrafa, barril, lata, entre outros). Nesta fase, o fornecimento da cerveja revela-se essencial, tendo a sua quantidade de ser suficiente e o seu caudal compatível com a operação. Para além disso, deve preservar-se a integridade da cerveja, mantendo uma gama de temperaturas adequada [21]. No Super Bock Group o enchimento dá-se a cerca de 4 °C.

No caso de enchimento de garrafas, estas podem ser de Tara Retornável (TR) ou de Tara Perdida (TP). Enquanto as garrafas TP são novas e provêm de paletes dos fornecedores de vidro, as garrafas TR são devolvidas à empresa vindas do mercado, necessitando as últimas de passar por um processo de higienização antes de serem cheias com líquido.

O processo de enchimento de garrafas divide-se em várias etapas, como ilustrado no fluxograma da figura 2.11, que é referente ao enchimento de cerveja em garrafas TP, realizado na L6 do centro produtivo de Leça do Balio do Super Bock Group.

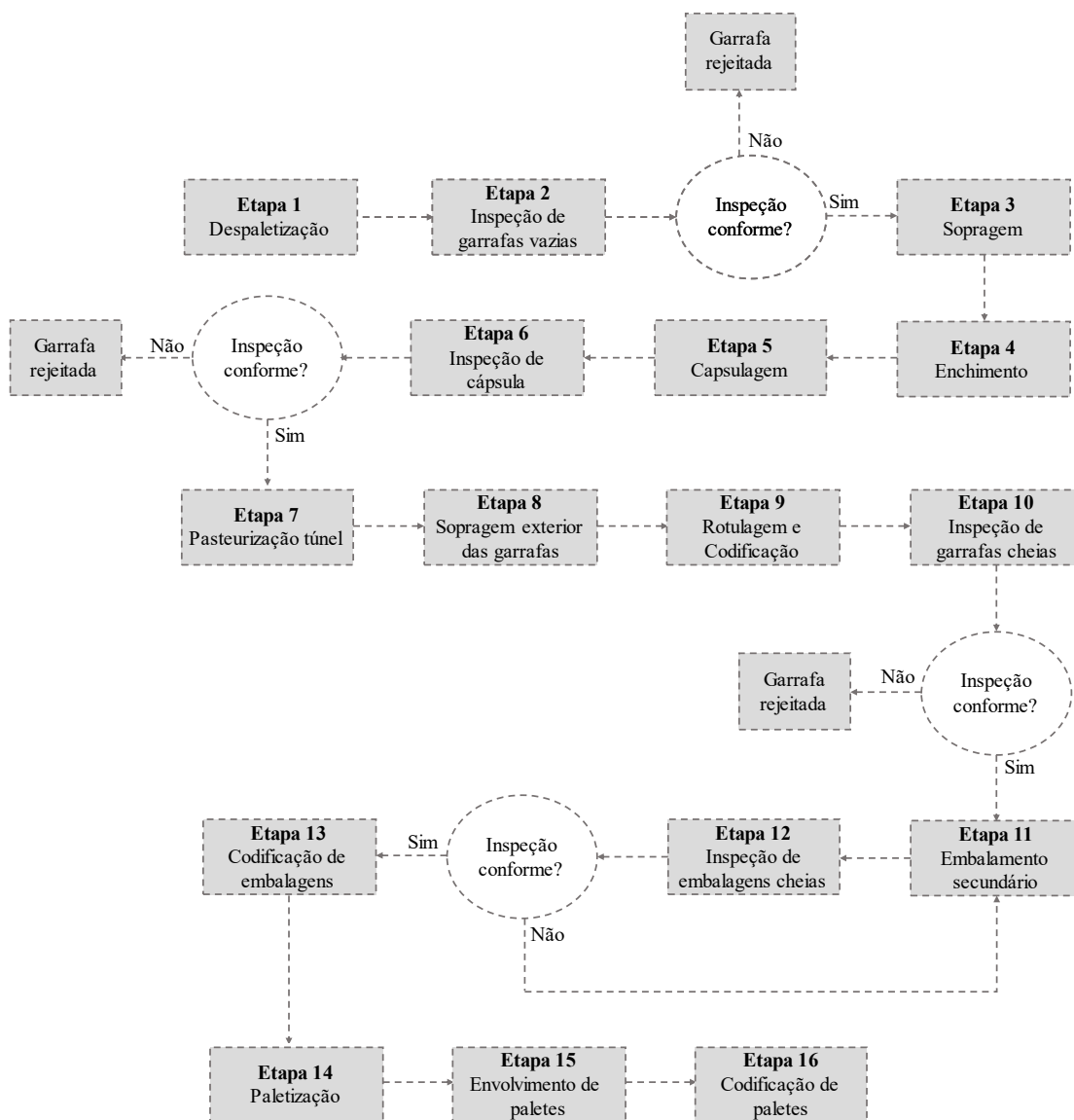


Figura 2.11: Fluxograma do enchimento de cerveja em garrafas TP da linha 6.

Após a despaletização das garrafas TP ou higienização das garrafas TR, estas passam individualmente num inspetor de garrafas vazias que apresenta como principal objetivo assegurar a ausência de contaminação das mesmas. Caso o equipamento detete a presença de algum objeto estranho, presença de líquido, defeito na garrafa ou a presença de uma garrafa diferente das que estão em produção, a garrafa será rejeitada e quebrada [22].

Na sopragem, as garrafas conforme são voltadas para baixo e sujeitas a um sopro de ar comprimido estéril para garantir que estão vazias e livres de resíduos, reduzindo assim possíveis perigos para o ser humano [21, 22].

Segue-se o processo de enchimento da garrafa com cerveja, representado na figura 2.12. Note-se que na figura 2.12 a cerveja (*Getränk beverage*) está representada a amarelo, o CO₂ a azul-marinho, o gás de retorno a azul (*Rückgas return gas*) e o canal de descarga (*Entlastung relief*) a branco. Sabe-se que a cerveja é extremamente sensível ao oxigénio, uma vez que a presença deste contribui para a oxidação de algumas substâncias e conseqüente envelhecimento precoce do produto. Deste modo, o enchimento possui uma série de fases que protegem a cerveja do contacto com o ar e com a luz [22].



Figura 2.12: Esquema representativo do enchimento da cerveja [23].

A primeira fase do enchimento consiste na remoção do ar atmosférico da garrafa, ficando esta sob vácuo, ocorrendo, de seguida uma descarga de dióxido de carbono na garrafa (enxaguamento com CO₂ – figura 2.12 – 1). Esta fase é repetida para retirar a maior quantidade de ar possível do interior da garrafa [21, 23].

O próximo passo consiste na introdução de contrapressão de CO₂ na cerveja (tensionamento – figura 2.12 – 2) pela válvula de retorno, que permite que a pressão interna da garrafa seja suficiente para impedir a carbonatação do produto, isto é, que a pressão seja suficiente para manter o gás a uma pressão superior à de equilíbrio, durante o enchimento, para evitar a libertação de CO₂. De modo que o interior da garrafa atinja a pressão do líquido na cuba, introduz-se CO₂ na mesma (figura 2.12 – 3) [21]. Segue-se o enchimento da garrafa com cerveja, que é direcionada a descer pelas paredes da garrafa para evitar turbulência. No início, o enchimento é lento (figura 2.12 – 4) para não formar espuma, ganhando velocidade à medida que a garrafa enche com líquido (figura 2.12 – 5) [21, 23, 22].

O final do enchimento pode ser realizado por nível, ou seja, pela altura da cânula que entra na garrafa. Quando a quantidade de cerveja dentro da garrafa é a desejada, a válvula de retorno do gás (figura 2.12 – 6) e a válvula da zona da cerveja fecham (figura 2.12 – 7). De seguida, a válvula de retorno do gás volta a abrir, levando a uma diminuição lenta da pressão que evita a formação de espuma (figura 2.12 – 8) [22]. Para garantir a quantidade de cerveja exata no interior da garrafa, a válvula de enchimento desce e abre-se um canal lateral, deixando ar sob a válvula de enchimento e permitindo que a cerveja que ainda se encontra no tubo de enchimento flua para dentro da garrafa (figura 2.12 – 9). Por outro lado, se, durante o enchimento, o gás sair pelo tubo de ventilação, esta etapa cessa quando o líquido atinge esse tubo, pois o gás irá exercer uma pressão que impede o fluxo de cerveja para o interior da garrafa. Após esta etapa também se dá a depressurização da garrafa através da válvula de retorno [21, 23]. A enchedora é o equipamento mais lento da linha de enchimento, determinando assim a velocidade da linha [24].

É importante eliminar o ar do *headspace* da garrafa cheia para evitar a entrada de O₂ aquando da capsulagem, já que qualquer ar capturado por baixo da cápsula irá oxidar a cerveja. Desta forma, entre o enchimento e a capsulagem, um caudal de água estéril a alta pressão é injetado em cada garrafa. Devido à pressão da água, é apenas necessária uma pequena quantidade desta para que se forme espuma. No entanto, revela-se importante que haja um compromisso entre a quantidade de água injetada e a quantidade de ar que sai do *headspace* da garrafa. Isto porque quanto maior a quantidade de água injetada maior é a probabilidade de eliminar a totalidade do ar, contudo, a quantidade de

espuma formada também é superior, resultando numa maior perda de volume líquido [21, 22].

A capsulagem dá-se imediatamente após a espumagem e tem de estar associada ao enchimento para garantir que a garrafa seja imediatamente isolada, de modo que o líquido não contacte novamente com o ar. Nesta etapa a garrafa é capsulada com cápsula adequada, seja em termos de desenho técnico ou de conformidade com o líquido que está a encher no momento [21, 22]. No capítulo 2.5.1 será aprofundado este tema, bem como os diferentes tipos de cápsulas.

Após a inspeção de cápsula, onde são rejeitadas as garrafas que não foram capsuladas ou que ficaram muito tempo em contacto com o ar, as garrafas aprovadas seguem para o pasteurizador. No pasteurizador, dá-se a etapa de pasteurização em túnel, onde as garrafas sofrem um tratamento térmico, sendo submetidas a jatos de água quente a diferentes temperaturas ao longo das diferentes secções do pasteurizador. Primeiramente, são submetidas a uma temperatura inferior à temperatura de pasteurização (para evitar a quebra do vidro devido à diferença de temperatura), depois são submetidas à temperatura de pré-pasteurização (superior à temperatura de pasteurização) e por fim à temperatura de pasteurização. Note-se que as temperaturas dos jatos de água variam consoante o tipo de garrafa e de bebida. Antes de saírem do pasteurizador, as garrafas são arrefecidas por banhos de água fria para não partirem aquando do momento de saída do pasteurizador [21, 22]. Note-se que existem diferentes tipos de tratamentos de estabilização biológica da cerveja, podendo esta operação ser efetuada a frio (filtração esterilizante), ou a quente, antes (pasteurização-*flash*) ou depois (pasteurização túnel) do embalamento [9]. No caso das garrafas TP do Super Bock Group, as mesmas são sujeitas a uma pasteurização em túnel.

As garrafas pasteurizadas passam novamente num soprador, onde o seu exterior é seco inicialmente por cima e por baixo (para garantir que não ocorre desenvolvimento de ferrugem na cápsula devido à presença de água) e na lateral (para assegurar a adesão do rótulo, contrarrótulo e gargantilha à garrafa na etapa de rotulagem). Na rotulagem pode ser usada uma cola própria ou rótulos com adesivo, sendo os principais objetivos do rótulo a identificação e informação do produto. Os produtos são também codificados, no mínimo, com lote e data de validade. À saída da rotuladora, as garrafas são novamente inspecionadas consoante o volume líquido de cerveja no interior da garrafa (inspeção de nível – critério legal) e presença ou ausência de rótulo, contrarrótulo e gargantilha. A

garrafa passa também num inspetor de pressão interna e imagem de cápsula que avalia a pressão interna do líquido presente na garrafa, o formato da cápsula e a qualidade de impressão da mesma. Através da medição da pressão interna é possível aferir que se o seu valor for inferior ao *set-point* do inspetor pode significar que o líquido não é o adequado (poderá haver diluição do produto), que a bebida não tem pressão suficiente (sendo um indicador de mau isolamento do sistema *garrafa + cápsula* ou cápsula com defeito). Avaliando o formato e qualidade de impressão da cápsula percebe-se, respetivamente, se a cápsula é adequada ao líquido e se a mesma se encontra riscada, crivada ou furada, por exemplo, comprometendo a qualidade do produto final. É importante referir que se a garrafa for rejeitada devido à cápsula se encontrar furada, também deve ser rejeitada pela pressão interna.

De seguida, as garrafas são embaladas de acordo com o produto que se está a processar, sendo as embalagens secundárias adequadas aos requisitos do mercado e englobando, por exemplo, *packs* ou caixas de diferentes formatos ou quantidade de produto. A inspeção de embalagens, se conforme, garante que a embalagem secundária contém todas as unidades individuais. Se inspeção não conforme, o produto é novamente embalado. As embalagens secundárias, à semelhança das garrafas, são codificadas antes de serem paletizadas, envolvidas em filme e etiquetadas para possível identificação e rastreabilidade do produto [22].

Para além destes aspetos, torna-se importante mencionar a higienização dos sistemas de enchimento e capsulagem, já que nestes pode ocorrer a acumulação de contaminantes, que podem poluir a bebida durante o processo de enchimento. Note-se que este processo não é realizado durante o enchimento, mas sim de acordo com uma matriz definida internamente pela empresa, onde se encontram definidas frequências, validade das higienizações e quando estas são necessárias. Regularmente torna-se então necessária a limpeza e higienização dos componentes que entram em contacto com o líquido através de um circuito fechado de *Clean-in-Place* (CIP) [23]. Na figura 2.13 encontra-se representado um sistema CIP aplicado aos componentes de enchimento, onde o agente de limpeza é retratado a cor-de-rosa.

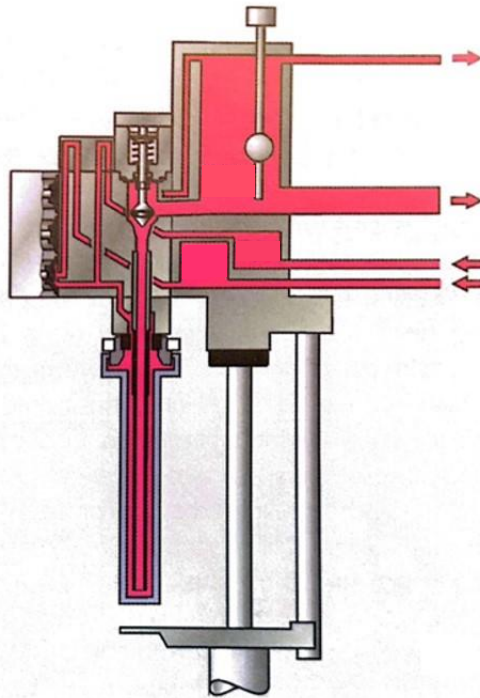


Figura 2.13: CIP aplicado ao sistema de enchimento [23].

Como é possível observar pela figura 2.13, por baixo dos componentes de enchimento é colocado um vaso com formato específico e todas as válvulas são abertas para possibilitar uma passagem rigorosa do agente desinfetante por todos os componentes. Imediatamente de seguida, o sistema é lavado com água para eliminar qualquer resíduo do desinfetante. No caso da limpeza dos componentes de capsulagem, é aplicado um sistema semelhante, no entanto, nesse caso são colocadas cápsulas especiais ligadas ao sistema de capsulagem [23].

2.5.1. Cápsulas e capsulagem

A capsulagem é a etapa responsável pela aplicação da cápsula e consequente vedação do líquido e gases presentes no interior da garrafa, mantendo assim a integridade dos mesmos, até que esta seja aberta para consumo. Além disso, a cápsula é revestida interiormente por uma película, *liner*, que deve ser inerte, ou seja, não deve reagir com os gases presentes no *headspace* da garrafa ou com o líquido, de forma a não comprometer as propriedades organoléticas do mesmo, uma vez que contacta diretamente com a cerveja [24]. O *liner* é um vedante presente no interior da cápsula, que funciona como interface entre a garrafa e a cápsula.

Na L6 do centro produtivo de Leça do Balio do Super Bock Group existem dois capsuladores. Um para capsular com cápsulas coroa ou *pull-off*, trocando-se as cabeças

de capsulagem, e outro para capsular com cápsulas ROPP. Nos subcapítulos 2.5.1.1, 2.5.1.2 e 2.5.1.3 serão abordadas as três tipologias de cápsulas respetivamente mencionadas, bem como o processo de capsulagem usado com cada uma delas.

2.5.1.1. Cápsulas Coroa

As cápsulas coroa são constituídas por uma estrutura metálica que geralmente é de aço revestido com estanho (*tin-plated steel*) ou com cromo eletrolítico (*chromium coated steel*). Em casos que surja a necessidade do uso de materiais mais resistentes à corrosão, por exemplo, em casos de material para exportação, é normal utilizarem-se cápsulas de aço inoxidável ou de alumínio [25]. Sob condições adequadas ao seu bom funcionamento, as cápsulas dever ser capazes de:

- Garantir a vedação do líquido e do gás no interior da garrafa até aos limites máximos de carga térmica e mecânica esperados;
- Resistir à corrosão;
- Permanecer em contacto com alimentos, sem qualquer perecimento das características organoléticas dos mesmos;
- Ser usadas para capsulagem nas linhas de enchimento [25].

Esta tipologia de cápsula é obtida a partir de um disco de metal com ondulações em torno da circunferência (saia da cápsula), que servem para permitir o seu esmagamento subsequente na garrafa [25]. O aspeto padrão de uma cápsula coroa encontra-se representado na figura 2.14.



Figura 2.14: Cápsula Coroa sem decoração [26].

Antes de adquirir um aspeto similar ao da figura 2.14, a estrutura da cápsula é revestida com vernizes interior e exteriormente, sendo estes diferentes entre si. O revestimento exterior protege a cápsula da corrosão e é passível de ser decorado com o *branding* da marca. Os materiais de revestimento usados devem apresentar elevada resistência ao risco, de modo a evitar a produção de pó. Internamente, o verniz assegura a adesão do *liner* à cápsula e previne a formação de corrosão durante o período útil da

mesma [25]. Os vernizes usados no revestimento devem ser adequados para passarem por processos de pasteurização e esterilização [23].

Relativamente aos *liners* utilizados nas cápsulas coroa, estes podem ser de diferentes tipos, dependendo das aplicações individuais do produto. Para a escolha do *liner*, torna-se necessária a análise dos seguintes pontos:

- Tensões mecânicas e térmicas a que a cápsula será exposta;
- Cumprimento da legislação, do país de destino, relativa aos materiais que podem contactar diretamente com alimentos;
- Natureza do produto;
- Compatibilidade do *liner* com a forma da cápsula e da garrafa;
- Outras especificações relacionadas com a aplicação (por exemplo espessura do metal) [25].

Assim, distinguem-se *liners* padrão (*standard*), barreira (*barrier*), *scavenger*, de baixo calibre (*low gauge*), de torção (*twist*) e de enchimento a quente e/ou esterilização (*hot-fill and/or sterilization*).

Os *liners* padrão são utilizados para produtos com requisitos moderados, tais como cerveja. Por outro lado, os *liners* barreira são usados em produtos com tempo de prateleira mais elevado ou que necessitem de proteção contra odor ou compostos orgânicos voláteis. Os *liners scavenger* contêm sulfito de sódio (Na_2SO_3) que é capaz de adsorver o O_2 que tenta atravessar o *liner*, não o deixando contactar com o líquido. Este tipo de *liner* é utilizado no Super Bock Group em garrafas TP. No que concerne os *liners* de baixo calibre, estes são usados em cápsulas com baixa espessura de chapas metálicas. *Liners* de torção são adaptados a uma determinada aplicação para aumentar os valores de abertura ao longo do tempo de prateleira. Por fim, *liners* de enchimento a quente e/ou esterilização usam-se em situações a que o produto é submetido a temperaturas superiores às de pasteurização [22, 25].

Antes de serem aplicadas na garrafa, as cápsulas têm de estar todas na mesma posição, de modo a assegurar que nenhuma cápsula é aplicada com a face fechada (topo da cápsula) voltada para baixo. Assim, todas as cápsulas são alimentadas a um tubo (*magic pipe*) que inverte a sua direção, fazendo com que saiam todas na mesma direção, independentemente da forma como entraram no tubo, como é perceptível pela imagem da figura 2.15 [23].

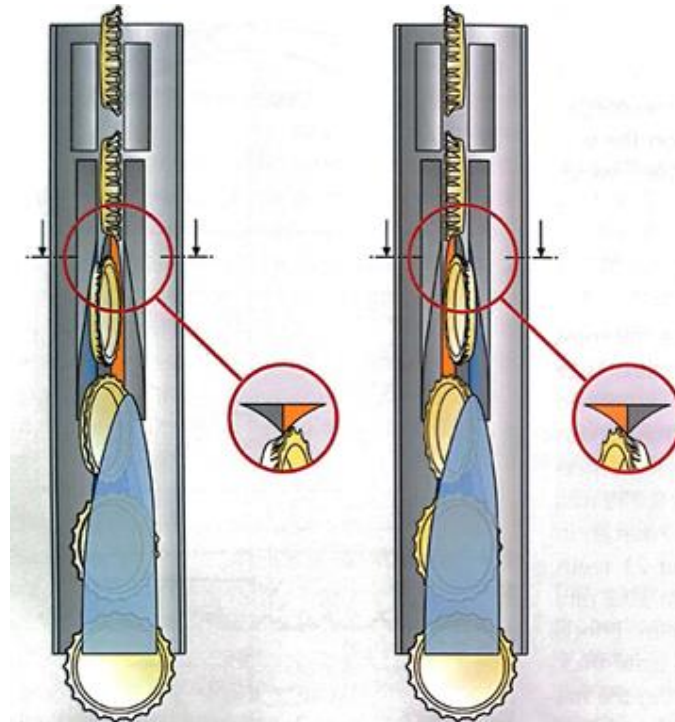


Figura 2.15: Esquema representativo do modo de funcionamento de uma máquina de ordenação de cápsulas coroa [23].

Observando a figura 2.15 é possível verificar que, se por exemplo a cápsula entrar no tubo com a face aberta voltada para o observador (figura 2.15 – direita) ela é voltada 90° para a esquerda, pelos mecanismos presentes no tubo, de forma a sair do mesmo com a face aberta voltada para a direita. A imagem da esquerda exhibe exatamente o contrário, tendo a cápsula de ser girada 90° para a direita para sair do tubo com a face aberta voltada para a direita [23].

A transferência das cápsulas desde o tubo até à cabeça de capsulagem é um processo mecânico que pode ser exemplificado pela imagem da figura 2.16. Neste processo, a cápsula é alimentada ao segmento de transferência (figura 2.16 – 1), de seguida é direcionada por uma rampa (figura 2.16 – 2) até ao íman (figura 2.16 – 3) [23].

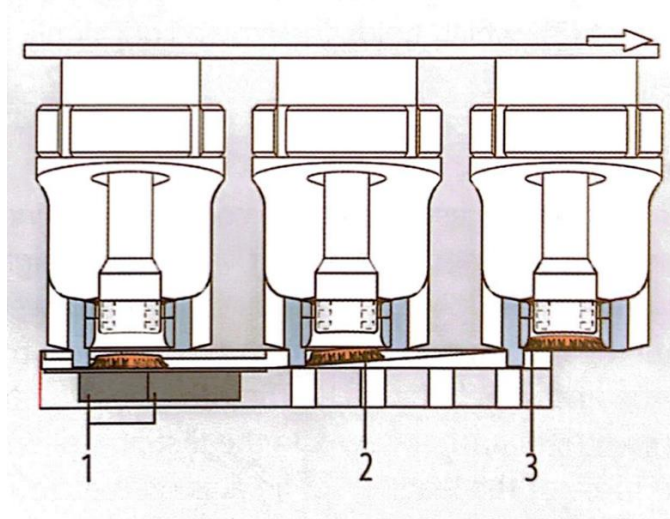


Figura 2.16: Transferência da cápsula para a cabeça de capsulagem [23].

O processo de capsulagem é apresentado esquematicamente na figura 2.17 e inicia-se pela descida do elemento de capsulagem até que a garrafa consiga segurar a cápsula (figura 2.17 – 1). Depois, somente a matriz de capsulagem se move para baixo, sendo que apenas uma força vertical exercida pela mola principal atua sobre a cápsula (figura 2.17 – 2). Segue-se um aumento da força aplicada sob a cápsula até que o processo termina quando esta se move 7,7 mm na matriz de capsulagem (figura 2.17 – 3), formando ondulações na saia da cápsula de acordo com o formato do gargalo da garrafa. Posteriormente a força aplicada diminui (figura 2.17 – 4) e o elemento de capsulagem volta à posição inicial.

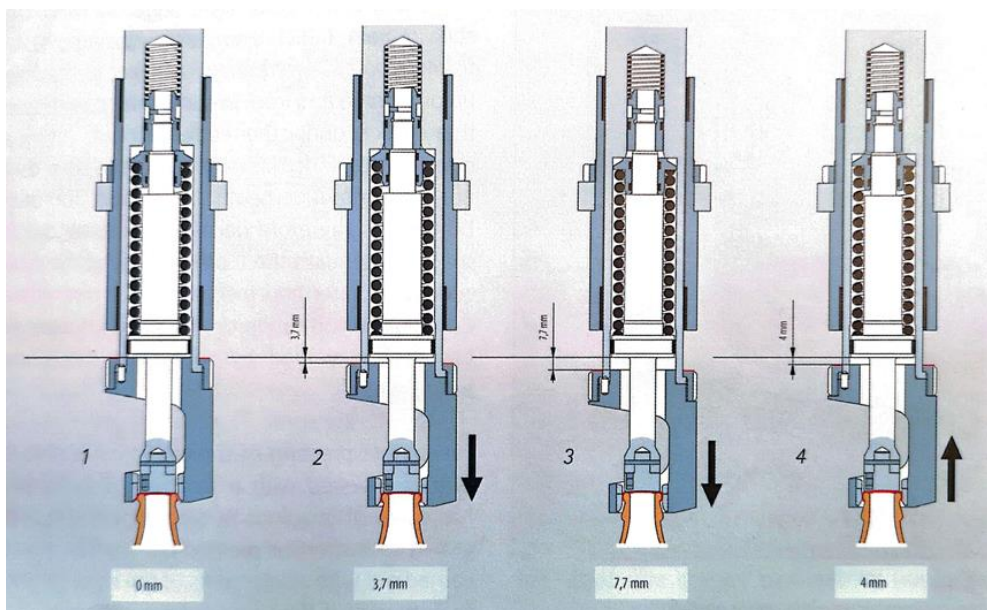


Figura 2.17: Curso do elemento de capsulagem durante a capsulagem [23].

Note-se que a matriz de capsulagem apresenta formato de rosca circular e diferentes diâmetros internos (perceptível pela observação da figura 2.18), permitindo a entrada da cápsula até que o diâmetro interno da matriz seja menor que o diâmetro externo da cápsula.

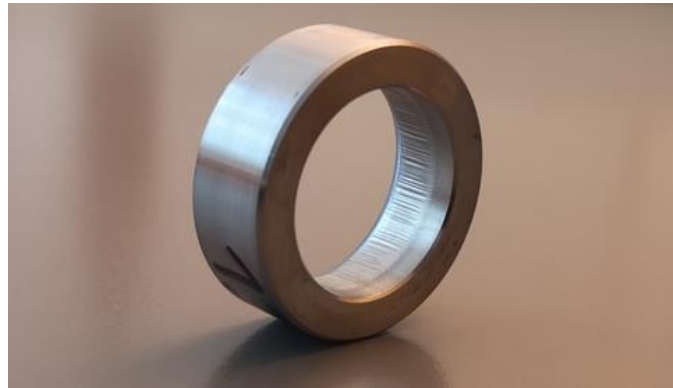


Figura 2.18: Matriz de capsulagem usada em cápsulas coroa.

Logo após a capsulagem, as garrafas devem ser pulverizadas ou enxaguadas com água para evitar a aderência de resíduos às mesmas e secas para impedir a formação de ferrugem nas cápsulas.

Para um melhor entendimento do aspeto final do conjunto *cápsula + garrafa* pode observar-se a imagem apresentada na figura 2.19, que retrata todos os elementos falados na presente secção.

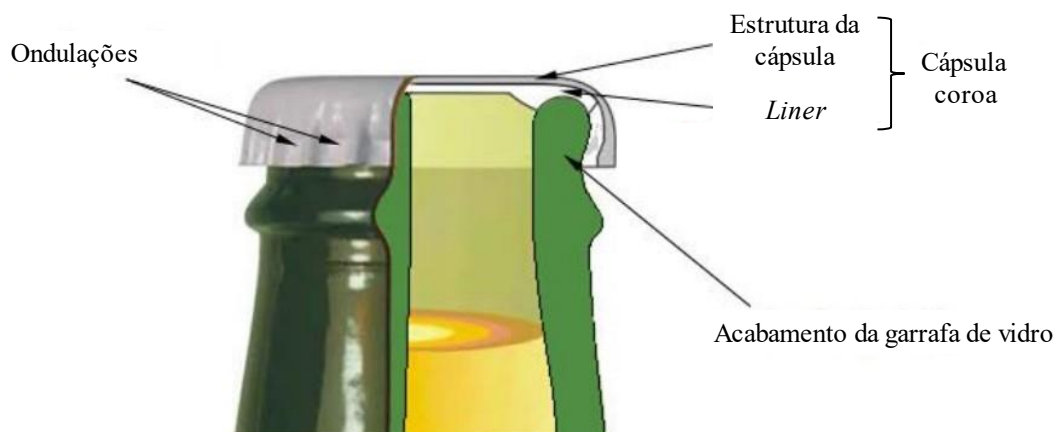


Figura 2.19: Esquema representativo do conjunto *cápsula + garrafa* [25].

2.5.1.2. Cápsulas *Pull-Off*

As cápsulas *pull-off* distinguem-se das cápsulas coroa pelo facto de apresentarem um anel, que permite que as garrafas sejam abertas sem o recurso a qualquer utensílio. A extração destas é então realizada puxando o anel adjacente, como ilustrado na figura 2.20.



Figura 2.20: Cápsula *Pull-Off* [27].

O Super Bock Group foi a primeira empresa a utilizar este tipo de cápsula em Portugal, pelo lançamento de uma edição limitada de cerveja (“*Super Bock Cool*”) em 2006. Atualmente, esta tipologia de cápsulas é apenas usada pela empresa em algumas cervejas e sidras, especialmente em formatos mais pequenos, nomeadamente *Super Bock* 0,20 L e 0,25 L, *Somersby* 0,20 L, *Super Bock Green* 0,33 L e *Cristal* 0,25 L [24].

Similarmente às cápsulas coroa, as cápsulas *pull-off* também apresentam um *liner* no seu interior que pode ser dos mesmos tipos apresentados anteriormente no subcapítulo 2.5.1.2. Relativamente ao processo de capsulagem, a aplicação das cápsulas é análoga à capsulagem com cápsulas coroa. No entanto, neste caso, as cápsulas *pull-off* são pressionadas contra a garrafa por peças metálicas, vulgarmente conhecidas como aranhas.

2.5.1.3. Cápsulas ROPP

As cápsulas ROPP são feitas de alumínio e revestidas interiormente por verniz, podendo ser decoradas no exterior. Para além disso, à semelhança das restantes tipologias de cápsula, também esta é vedada interiormente por um *liner*. Produzida pela primeira vez em 1933, a cápsula com banda *pilfer-proof* (à prova de furtos) permitiu a minimização da interferência com a integridade do produto e impulsionou o aparecimento destas no mercado [21, 28]. Na figura 2.21 observa-se a aparência padrão de uma cápsula ROPP sem decoração.



Figura 2.21: Cápsula ROPP sem decoração [29].

Como é possível observar-se pela figura 2.21, este tipo de cápsula apresenta “pontes”, isto é, pequenas ligações entre os cortes do metal, que ligam a banda *pilfer-proof* ao topo da cápsula. Quando é aplicada uma força de abertura, as pontes partem, fazendo com que um anel de metal (banda *pilfer-proof*) permaneça no gargalo da garrafa [21].

Para além do tipo de cápsula ROPP apresentado na figura 2.21, existe outro que possui entalhes verticais e linhas e pontes horizontais, que permite que toda a cápsula seja removida da garrafa, mesmo a banda *pilfer-proof*, quando é aplicada uma força de abertura. Com o intuito de prevenir as cápsulas de explodir devido à elevada quantidade de CO₂ presente na garrafa, as cápsulas apresentam umas cavidades que promovem a libertação gradual da pressão interna [21].

Esta tipologia de cápsula deve apresentar outras características, em adição às mencionadas no capítulo 2.5.1.1 para a cápsulas coroa, que são:

- Permitir abertura manual;
- Permitir voltar a fechar;
- Servir como prova de violação do fechamento;
- Manter o *liner* no espaço correto [28].

Existem diferentes tipos de *liner*, ou este corresponde a um elemento circular empregue na cápsula como foi fornecido, ficando aderido ao interior da cápsula, ou apresenta forma de “gota” e é moldado no interior da cápsula por estampagem ou centrifugação [28].

A capsulagem com cápsulas ROPP é um processo automático que se dá a alta velocidade, estando um esquema da cabeça de capsulagem representado na figura 2.22. Este consiste no movimento descendente de uma cabeça de capsulagem sobre a garrafa e cápsula que aplica uma força sobre a última, de forma a vedar o vidro com o *liner*. Os

roletes (*thread rollers e tuck rollers*) cravam o metal nos espaços livres do acabamento da garrafa, fazendo com que a cápsula tome esse formato [30].

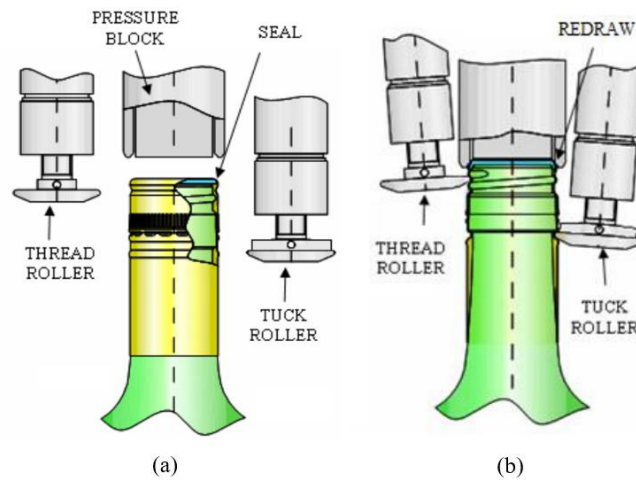


Figura 2.22: Posição da cabeça de capsulagem antes (a) e durante (b) a sua aplicação.

O capsulador é um equipamento rotativo, equipado com várias cabeças de capsulagem e com um dispositivo de captação de cápsulas na alimentação, permitindo que várias garrafas possam ser capsuladas ao mesmo tempo. A figura 2.23 mostra um esquema de corte de um conjunto *cápsula ROPP + garrafa*, no qual é clara a diferenciação entre o rolete “*thread*” e o rolete “*tuck*”. O rolete “*thread*” aplica força sobre a cápsula para que esta adquira o formato “ondulado inclinado” do acabamento da garrafa, enquanto o rolete “*tuck*” atua abaixo do primeiro, na conexão do bocal da garrafa com o gargalo.

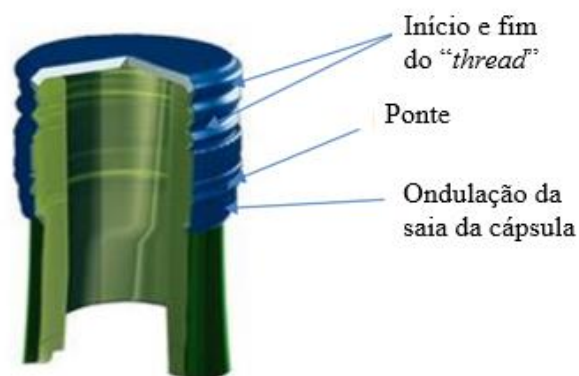


Figura 2.23: Corte de um conjunto cápsula ROPP + garrafa [28].

A análise da figura 2.23 permite a visualização do local ocupado pelas pontes (acima da banda de *pilfer-proof*), bem como do começo e do final da linha resultante da

aplicação do rolete “*thread*” e da ondulação resultante na saia da cápsula provocada pela ação do rolete “*tuck*”. Além disso, é possível verificar que a cápsula é moldada contra a rosca da garrafa e moldada de modo a adquirir a forma do acabamento da mesma.

2.6. Controlo de Qualidade da cerveja

O termo qualidade está relacionado com as características e propriedades que um determinado produto apresenta, tendo em consideração as necessidades e exigências do consumidor [31].

O controlo de qualidade é uma ferramenta de extrema importância na garantia da qualidade dos produtos, que visa assegurar o cumprimento das especificações exigidas ao longo do processo, isto é, garantir a conformidade do produto. Este deve ser efetuado ao longo do processo de produção, desde a receção das matérias-primas ao produto acabado. Para tal, devem ser realizadas análises instituídas pelos processos de verificação e de validação [31].

2.6.1. Parâmetros que influenciam a qualidade da cerveja

Entre os parâmetros mais importantes no controlo de qualidade da cerveja, mencionados no subcapítulo 2.2, destacam-se o oxigénio, o dióxido de carbono e a espuma, cujas principais características se encontram listadas na figura 2.24.

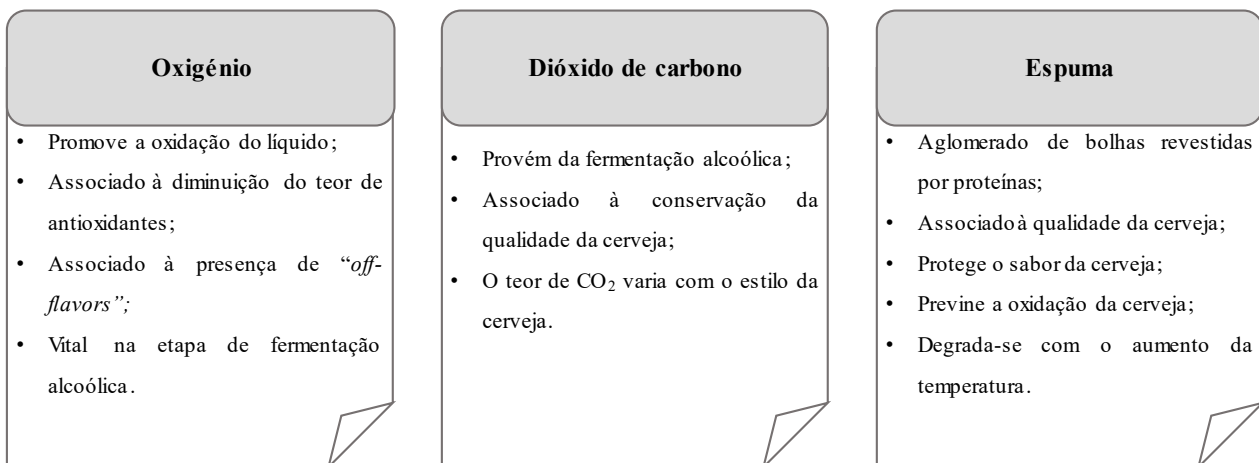


Figura 2.24: Quadro resumo das principais características do oxigénio, do dióxido de carbono e da espuma no que concerne a cerveja.

O teor de oxigénio durante o fabrico e envelhecimento da cerveja corresponde a um dos principais motivos da oxidação do líquido, afetando as suas características organoléticas. O O₂ reage com outras moléculas formando radicais livres que, por sua vez, reagem com constituintes presentes na cerveja formando compostos indesejáveis,

estando também associado à diminuição do teor de antioxidantes. Deste modo, torna-se importante a diminuição máxima da interação do oxigénio com a cerveja durante as diversas fases do processo produtivo e de enchimento e durante o seu armazenamento [6, 32].

A presença de O_2 associa-se a “*off-flavors*” da cerveja, tais como o sabor a cartão. No entanto, a presença de oxigénio no princípio da etapa de fermentação é vital para propiciar o crescimento das leveduras, tal como mencionado na secção 2.4.2. No que toca ao desenvolvimento de “*off-flavors*” e da oxidação da cerveja, a etapa de enchimento revela-se a mais crítica de todo o processo, daí a passagem no bico de espumagem antes da capsulagem. Outra forma de evitar a oxidação do líquido é através do uso de garrafas de cor âmbar, para minimizar a entrada de luz e com uma boca de comprimento inferior a 4 centímetros, para reduzir a quantidade de ar dentro da garrafa [33].

O dióxido de carbono provém da ação fermentativa das leveduras, que fica retido no líquido, podendo libertar-se tanto mais facilmente quanto maior for a temperatura do meio [9]. Este gás é responsável pela conservação da qualidade da cerveja, influenciando a formação de espuma e a sensação de “borbulhamento”, que serão tanto maiores quanto maior a quantidade deste. Para além disso, proporciona a perceção da cor, brilho, odor, sabor e textura da cerveja ao consumidor [34].

Porém, o excesso de CO_2 na cerveja causa o aumento da pressão interna na garrafa, podendo causar a explosão da mesma. A quantidade de CO_2 presente depende do estilo da cerveja, resultando em cervejas mais gaseificadas que outras, como é o caso das *Lager* em relação às *Ale* [34, 35].

A espuma revela-se um dos parâmetros mais importantes no que diz respeito à qualidade de uma cerveja e à sua perceção pelo consumidor. Como referido no subcapítulo 2.2, a espuma é um aglomerado de bolhas revestidas por proteínas e deve ser abundante, cremosa, estável e aderente ao copo [9].

A cerveja é a única bebida que mantém a espuma que forma. Isto acontece, pois, existe tensão elevada do ácido carbónico (H_2CO_3) na espuma, resultante da ação das proteínas e dos ácidos do lúpulo. Estes, como são hidrofóbicos, tendem a escapar do líquido em direção à espuma. A espuma apresenta vários benefícios, tais como a proteção do sabor da cerveja, a prevenção da oxidação da mesma, por parte do oxigénio presente

no ar ambiente, a manutenção da temperatura do líquido e ainda confere um aspeto visual apelativo à bebida [36].

Se uma cerveja forma demasiada, ou, em contrapartida, não forma espuma, a cerveja não deve estar nas melhores condições para ser consumida, uma vez que pode possivelmente existir algum problema com a carbonatação, alguma contaminação ou poderá mesmo estar fora do prazo de validade. É relevante referir que quanto mais elevada for a temperatura a que está exposta a cerveja, mais facilmente a espuma se degrada [36].

2.7. Águas minerais naturais gasocarbónicas

A água representa entre 75% e 80% da massa total do corpo humano, tratando-se, por isso, de um bem essencial à vida. Apresenta benefícios para a digestão, metabolismo, assim como assegura o equilíbrio iónico do organismo e favorece a evolução celular. Prematuramente, o Homem apercebeu-se da importância da água, concentrando-se em locais onde esta seria mais abundante [37].

No planeta Terra, a água encontra-se em constante movimento. Passa das nuvens para o solo, rios, lagos ou oceanos através das chuvas e, pela ação da temperatura, evapora, renovando-se assim um novo ciclo. Apenas 2,5% da totalidade da água do planeta é doce, estando cerca de 60% congelada nos polos. Desta reduzida percentagem, cerca de 30% consegue penetrar os solos arenosos e graníticos, iniciando um novo percurso e apresentando características minerais muito diferentes e com imenso potencial para a preservação da vida [37, 38].

Durante este percurso subterrâneo que pode demorar dezenas de anos, a água é naturalmente filtrada, sendo-lhe retiradas todas as impurezas. Também, devido ao contacto prolongado com os minerais das rochas calcárias e graníticas, dissolvem-se na água sais minerais. Por vezes, algumas águas conseguem misturar-se com o dióxido de carbono proveniente de zonas rochosas profundas, adquirindo um borbulhar característico e totalmente natural. Estas são denominadas de águas minerais naturais gasocarbónicas ou gasosas [38]. As águas disponíveis para consumo não são todas iguais, existindo para além das águas minerais naturais, as águas de nascente e outros tipos de águas consumíveis, como águas hipossalinas ou fracamente mineralizadas [37].

Relativamente às águas minerais naturais, foco da presente dissertação, estas são encontradas no subsolo a grandes profundidades (entre 500 m e 1000 m). Por essa razão não são sujeitas a poluição e a sua composição química é totalmente natural e proveniente

da interação água/rocha que se estabelece. Para além das características singulares que possuem, como foi referido, também é normal que algumas águas possuam gás natural [37, 38].

De modo a preservar a qualidade e pureza das águas minerais naturais gasocarbónicas, o seu engarrafamento só pode ser efetuado no local de captação. Estes locais e todos os terrenos e respetivos ecossistemas que os rodeiam têm de ser controlados de modo a evitar contaminações que possam influenciar as propriedades das águas. Atividades poluentes são estritamente proibidas e a prevenção de fogos é realizada pois qualquer destruição do coberto vegetal pode implicar a contaminação das águas profundas [37, 38]. No rótulo das embalagens é possível distinguir quais águas apresentam naturalmente dióxido de carbono e em quais este foi introduzido durante o processo de engarrafamento. As menções “naturalmente gasosa”, “gasocarbónica” ou “reforçada com gás natural” são indicações de que o teor de dióxido de carbono presente vem naturalmente do aquífero. Por outro lado, se o rótulo conter o termo “gaseificada” significa que o gás foi adicionado após a extração [39].

2.7.1. Água das Pedras

A exploração oficial de Pedras Salgadas (PS), já reconhecidas desde a época romana, iniciou-se em 1871, após um médico transmontano ter anunciado a qualidade da água ali presente. Dois anos depois, Henrique Botelho e Manoel Saraiva, dois médicos naturais de Vila Real, levaram uma amostra desta água a Viena, onde viria a ganhar um prémio. Com este impulso e validação, Botelho e Saraiva fundaram a marca Pedras Salgadas, cujo nome provém do local de nascimento da água e do sabor acre e salgado da mesma. Nesta zona, a água das chuvas consegue infiltrar-se até profundidades entre 500 m e 600 m, o que faz com que dissolva dióxido de carbono, adquirindo também as suas propriedades minerais graças à sua interação com as rochas [39, 40].

Em 1893 foi inaugurada em Bornes de Aguiar a primeira empresa de engarrafamento e distribuição de água de Pedras Salgadas que passou a incluir, em 1920, as águas de Vidago e Melgaço. A partir de 2002 a marca começou a ser explorada pelo Super Bock Group, sendo um dos pilares mais importantes da empresa. No centro produtivo de Pedras Salgadas, apenas 10% da produção é exportada, essencialmente para Espanha, França e Suíça, contudo o pretendido é crescer para outros mercados internacionais [40].

A Água das Pedras corresponde a uma água singular e rara, uma vez que poucas águas com gás no mundo são 100% naturais como PS. A sua qualidade e individualidade reconhecidas em todo o mundo, já somam, desde 1873 mais de 60 prémios, entre os quais o *International Hight Quality Trophies do Monde Seléction – International Quality Institute*, o *Superior Taste Awards do International Taste & Quality Institute* e medalhas recebidas em exposições internacionais desde Guangzhou (China) a Filadélfia (Estados Unidos da América). Em 2021 a marca completou 150 anos, tendo sido celebrada com uma edição especial, apresentada na figura 2.25 [41].



Figura 2.25: Pedras Salgadas, edição especial 150 anos [41].

2.8. Processo produtivo e de enchimento de Água das Pedras Regular

O processo produtivo de água mineral natural gasocarbónica Pedras Salgadas engloba uma série de etapas que visam manter intactas as propriedades organoléticas e físico-químicas do produto. Algumas das etapas inerentes a este processo encontram-se expostas na figura 2.26.



Figura 2.26: Esquema representativo de algumas etapas referentes ao processo produtivo de captação de Água das Pedras Regular.

Na fase de captação, a água é recolhida de acordo com um Plano de Captação interno e é transportada para o centro de produção e armazenada. No que concerne a desgaseificação, esta corresponde à recuperação do CO₂ libertado pela água. O arejamento com ar comprimido tem em vista a oxidação de alguns constituintes da água para posterior remoção e através da filtração removem-se eventuais partículas que possam encontrar-se suspensas. A armazenagem dá-se em vários momentos do processo produtivo, entre etapas, e no final do processo para posterior enchimento.

A Água das Pedras regular é cheia em garrafas de vidro com capacidades de 0,25 L, 0,50 L e 0,75 L, ou de politereftalato de etileno (PET) de 0,33 L e 1 L. Na presente dissertação apenas foi estudada a abertura em garrafas de vidro TP de 0,25 L que são capsuladas com cápsulas ROPP de alumínio. O processo de enchimento destas é similar ao processo de enchimento da cerveja mencionado no subcapítulo 2.5 e a capsulagem análoga à descrita no subcapítulo 2.5.1.3.

3. Validação dos programas de inspeção interna (pressão interna/imagem de cápsula e caixa)

Este capítulo divide-se em quatro partes, iniciando-se com a caracterização do problema e definição do plano de ensaio e do plano de amostragem. Depois descrevem-se os métodos experimentais seguidos e os materiais e os equipamentos utilizados, bem como os resultados destes e a sua análise.

3.1. Caracterização do problema

No Super Bock Group existem diferentes tipos de equipamentos de inspeção nas linhas de enchimento, nomeadamente inspetores de vazio, inspetores de cheio (nível de líquido, rótulos, pressão interna da garrafa e imagem da cápsula), inspetores de caixas (decoração da caixa e caixas incompletas), classificadores de grades, classificadores de garrafas, inspetores de grades cheias e inspetores de paletes. Neste projeto serão abordados os inspetores de cheio, nomeadamente de pressão interna e imagem de cápsula e os inspetores de caixas.

3.1.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula

A instalação do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula na L6 surgiu por recomendação da Direção de Qualidade do Super Bock Group. A presença deste inspetor na linha revela-se como uma forma de garantir cervejas/sidras de qualidade no mercado, nomeadamente no que diz respeito ao isolamento do sistema *cápsula + garrafa*, garantindo assim a sua estanquicidade, influenciando diretamente nas características organoléticas e sensoriais do líquido, mas também no aspeto exterior da cápsula, isto é, existência de defeitos ao nível da decoração e uso de cápsulas erradas.

Antes da instalação do inspetor na L6 foi realizada pela Direção de Qualidade uma avaliação à *performance* de inspetores deste tipo presentes noutras linhas. Perceberam que, devido à presença deste inspetor, foi possível detetar e rejeitar diretamente quatro situações de materiais não conforme (garrafas com cápsulas riscadas, cápsulas com descentramento na decoração e cápsulas com cor esbatida), que possivelmente não teriam sido identificadas pelos operadores da linha e enviadas para o mercado. Numa outra situação, foi detetado um lote de cápsulas com cápsulas sem *liner* que foi usado na L6 e numa outra linha que possuía inspetor de pressão interna e imagem de cápsula. Após inspeção de produto acabado, detetaram-se algumas garrafas com cápsulas sem *liner* na L6, ao oposto de nenhuma garrafa na outra linha devido à presença deste inspetor. É

importante referir que junto ao inspetor estudado, existe outro inspetor que inspeciona nível, presença de cápsula e presença de rótulo, contrarrótulo e/ou gargantilha. Porém, apenas este inspetor não tinha a capacidade de detetar os defeitos mencionados.

O inspetor estudado avalia a pressão interna do líquido e o formato e a qualidade de impressão da cápsula. Para além disso, fornece informação acerca do número total de garrafas que passaram no inspetor, do número total de garrafas que foram rejeitadas e do número de garrafas que foram rejeitadas por determinado parâmetro (PI, CS e/ou PQ).

Tencionou-se assim, perceber se o inspetor estava a aprovar/rejeitar garrafas de forma correta e, em caso de rejeição, se esta foi pelo(s) motivo(s) apropriado(s). Além disso, verificou-se também se o número total de garrafas rejeitadas foi adequado, ou seja, quando uma garrafa é rejeitada por PI e por CS, por exemplo, o número de garrafas rejeitadas deve aumentar apenas em uma unidade, pois apenas uma garrafa foi retirada da linha.

Relativamente à avaliação da pressão interna, o produto só deve passar no inspetor quando a sua pressão interna específica estiver desenvolvida o que, por sua vez, depende da temperatura, do teor de CO₂ dissolvido e do produto em concreto. Por isso, torna-se importante a localização deste inspetor no processo de enchimento. É recomendado que este se localize após o pasteurizador, à saída da rotuladora, uma vez que neste ponto o líquido já terá desenvolvido uma pressão interna suficiente para que não seja rejeitado e garrafas mal vedadas terão pouca ou nenhuma pressão interna e serão rejeitadas.

A pressão interna é verificada no inspetor estudado por uma deteção do tipo SONIC que consiste num sistema de dois sensores. Um dos sensores gera um campo magnético que magnetiza a cápsula fazendo com que o centro da mesma se desloque verticalmente para cima. Quando a cápsula volta ao estado normal, o segundo sensor, que funciona como um “microfone”, amplifica o sinal sonoro resultante dessa vibração. Na figura 3.1 é apresentada uma ilustração do evento descrito.

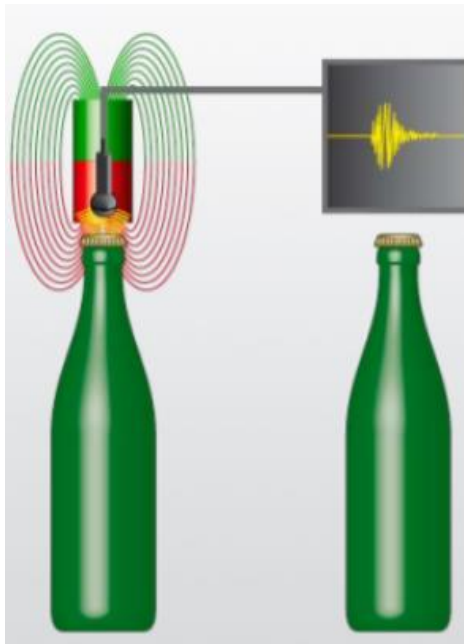


Figura 3.1: Modo de funcionamento do módulo de inspeção de pressão interna com deteção SONIC.

Como é perceptível pela ilustração da figura 3.1 é gerada uma onda sinusoidal em resultado da vibração da cápsula, que varia consoante a pressão interna da mesma e que pode resultar de problemas na capsulagem (má colocação da cápsula ou não capsulagem da garrafa) ou no enchimento (passagem de garrafas vazias, água ou produto diluído). A vibração gerada é depois convertida num valor de frequência que é comparado com um valor limite (*set-point*), abaixo do qual as garrafas são rejeitadas. Esse valor deve refletir um compromisso entre a aprovação de todas as cervejas/sidras de qualidade, não permitindo a passagem de produto com baixa pressão.

A componente de inspeção de imagem presente no inspetor da L6 engloba a inspeção do formato da cápsula e da qualidade de impressão. No que concerne o formato de cápsula, este não está necessariamente relacionado apenas com a sua geometria, mas também com a correspondência de padrões que possam existir na decoração da mesma. Entendem-se como padrões letras, logos ou figuras que apresentem contrastes e limites suficientemente definidos para que possam ser detetados. Por exemplo, numa cápsula *Super Bock*, os padrões identificados são as letras “SUPER” e “BOCK” e a circunferência nos limites do topo da cápsula.

Para um bom funcionamento do inspetor, é importante que as guias dos transportadores estejam devidamente ajustadas para que a imagem captada pelo inspetor esteja centrada com o topo da cápsula. Também, para que se possa classificar uma cápsula

como OK são definidos quais os desvios horizontais e verticais e as inclinações dos padrões aceitáveis, de modo que, por exemplo, a velocidade dos transportadores/inspeção não influencie na aprovação/rejeição das cápsulas. Os termos “OK” e “NOK” representam, respetivamente, conforme e não conforme.

No que diz respeito à inspeção de qualidade de impressão assumem-se como defeitos/danos riscos, deficiência nas cores, descentramento da decoração (ligeiro, pois se for um descentramento acentuado a garrafa é rejeitada pelo módulo de inspeção CS), furos, entre outros. Na figura 3.2 encontram-se exemplos de cápsula com cor esbatida (a), cápsula riscada (b) e descentramento da decoração (c). Note-se que em caso de furo, a garrafa também deve ser rejeitada por pressão interna.



Figura 3.2: Imagem de cápsula com cor esbatida (a), riscada (b) e com decoração descentrada (c).

Para a deteção de riscos existem parâmetros de contraste que são definidos de acordo com a sensibilidade de deteção desejada. Os parâmetros devem ser definidos de forma que não gerem falsas rejeições, tornando-se essencial estabelecer o aceitável/inaceitável para danos ou defeitos nas cápsulas, ponto que será aprofundado no subcapítulo 3.2.1.

Em ambas inspeções de imagem de cápsula é necessário realizar uma aprendizagem ou “*teach-in*” que consiste na passagem de cerca de 200 garrafas capsuladas com cápsulas consideradas OK de modo que o inspetor consiga obter o modelo normal e adequado.

Também é importante referir que o inspetor avalia a pressão interna da garrafa e o formato da cápsula e só avalia a qualidade de impressão se a cápsula for adequada. Quando a garrafa passa pelo inspetor, a cápsula pode não estar orientada da mesma forma que o modelo, de modo que o localizador de padrões altera a posição dos padrões da cápsula até à posição dos mesmos no modelo. Quando a imagem se encontra na posição

correta e após o módulo de inspeção do formato de cápsula ser validado, o inspetor procura por defeitos. Os defeitos, se existirem, consistem em pontos de contraste e, quanto maior o contraste existente, mais evidentes serão.

3.1.2. Inspetor de caixas

O inspetor de caixas é um equipamento localizado entre a etapa de embalagem e a etapa de paletização e permite a remoção de caixas defeituosas da linha. Para tal, primeiramente o equipamento analisa se a caixa está ou não completa, se a caixa é adequada ao produto acabado e se apresenta marcação de data de validade, sendo as duas últimas análises resultado da comparação da imagem da caixa com uma imagem de referência. Na figura 3.3 encontra-se esquematizado o processo de funcionamento deste inspetor.

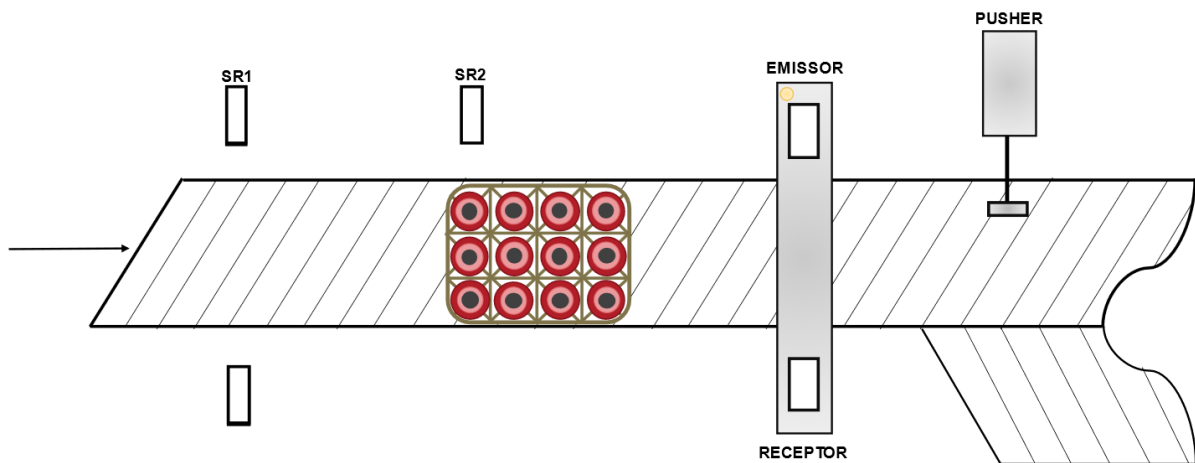


Figura 3.3: Processo esquemático do funcionamento do inspetor de caixas.

Relativamente à análise de caixa completa, o equipamento apresenta uma ponte de raios-X colocada acima dos transportadores, visível na figura 3.3, na qual um emissor/fonte, aquando da passagem da caixa, emite radiação através da caixa e das garrafas para um recetor. Uma vez que parte dela é absorvida pela caixa e pelas garrafas, a quantidade de raios-X que chega ao recetor é sempre inferior à emitida.

A caixa é subdividida em diferentes áreas de medição consoante o número de filas (paralelas à ponte de raios-X), por exemplo, a caixa representada na figura 3.3 apresenta 4 filas, ou seja, 4 áreas de medição. Cada fila é analisada e comparada com um valor limite de frequência (Hz) estipulado adequado (*set-point*). Se a fila de garrafas estiver completa, o valor recebido no recetor para essa área será inferior ao limite. Pelo contrário, se faltar uma garrafa, a quantidade de radiação absorvida será menor e o valor de sinal

recebido deve ser superior ao limite definido, resultando na rejeição da caixa pelo *pusher*. Dependendo do inspetor de caixas, a rejeição da caixa pode ser realizada por uma alteração nos transportadores. Na figura 3.4 é possível verificar a forma como o sinal é apresentado para uma caixa completa (a) e não completa (b), sob a forma de gráfico sinusoidal, sendo cada vale correspondente ao sinal recebido pelo recetor em cada fila. Note-se que caixa incompleta pode representar caixa sem garrafa, caixa com garrafa vazia ou caixa com garrafa partida.

O *set-point* definido deverá ser superior aos valores para caixa completa, de modo a evitar a rejeição de produto de qualidade. No entanto, não deve ser muito próximo dos valores para caixas não conforme, para impedir a passagem destas.

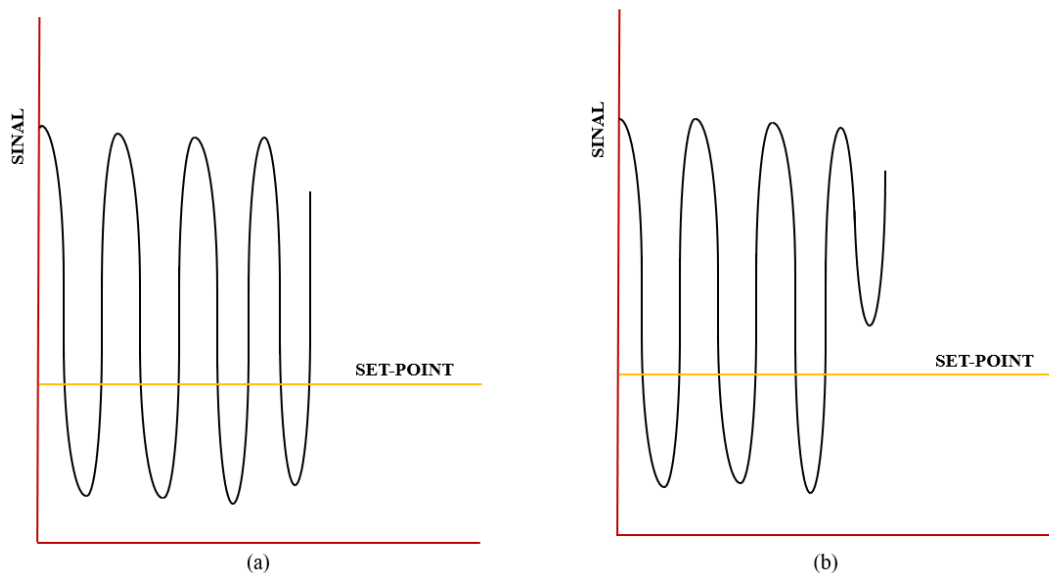


Figura 3.4: Gráficos de sinal para uma caixa conforme (a) e não conforme (b).

Cada vale representa o sinal recebido pelo recetor para cada fila, correspondendo o primeiro (esquerda, mais próximo do eixo das ordenadas) à primeira fila de garrafas a passar pela ponte de raio-X. Por outro lado, os picos representam as áreas sem garrafa, nas quais a radiação absorvida é inevitavelmente menor. Para estes picos é definido um outro *set-point* para valores altos, próximo, mas inferior ao sinal máximo recebido pelo recetor (geralmente entre 1200 Hz ou 1400 Hz consoante o poder de emissão da fonte). Se, por exemplo, um pico se encontrar abaixo desse valor pode significar que as garrafas estão desalinhadas e a caixa será rejeitada. Pela observação da figura 3.4, afere-se que o sinal máximo é recebido no momento em que a radiação atinge a caixa. O sinal dos

restantes picos é ligeiramente inferior pois uma pequena parte da radiação é absorvida pela caixa.

O tema “Estudo da variabilidade de sinal do inspetor de caixas da linha 1” surge do decréscimo dos valores de sinal recebidos pelo recetor ao longo do tempo. Para mais fácil compreensão do tema, apresenta-se na figura 3.5 um diagrama de Ishikawa simplificado sobre o mesmo, no qual o problema passa pela variabilidade do sinal do inspetor de caixas.

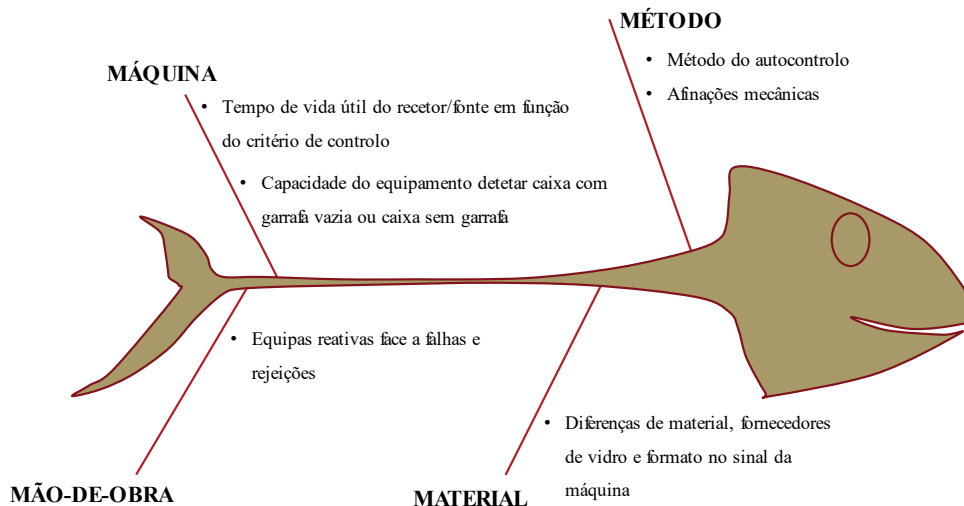


Figura 3.5: Diagrama de Ishikawa sobre a variabilidade de sinal do inspetor de caixas sentida na linha 1.

Como principais fontes de causas para esta problemática identificaram-se o “método”, a “máquina”, a “mão-de-obra” e o “material”. Dentro da macro causa “máquina”, distinguiram-se o tempo de vida útil do recetor e/ou da fonte em função da capacidade de se definir um *set-point* adequado e robusto para cada formato e a capacidade do equipamento detetar com certeza caixas com garrafas vazias ou sem garrafa. Relativamente ao “método”, destacaram-se o procedimento de validação dos programas de inspeção realizado pelos operadores da linha em diferentes intervalos de tempo e afiões mecânicas, como ajuste de guias de transporte ou da altura da fonte de raios-X. Também se identificou que uma das causas poderia estar relacionada com a reação por parte dos operadores a falhas ou rejeições em série, levando a paragens na linha. Ou seja, dependendo dos operadores da linha, a tolerância aos desvios poderia ser maior ou menor. Por fim, ponderou-se se diferentes “materiais” estariam a causar variabilidade no sinal, como o material de embalagem (caixas vs tabuleiros), cartão com diferentes espessuras, diferentes fornecedores de vidro ou diferentes formatos.

A variabilidade do sinal com o tempo foi também sentida nas linhas 2 (L2) e 5 (L5), que apresentam o mesmo equipamento de inspeção de caixas que a L1. Esses equipamentos têm a particularidade de apresentar um recetor com cristal, que é responsável pela reflexão da radiação. Na figura 3.6 encontra-se esquematizado um exemplo da variabilidade de sinal observada com o tempo entre caixa OK e NOK.

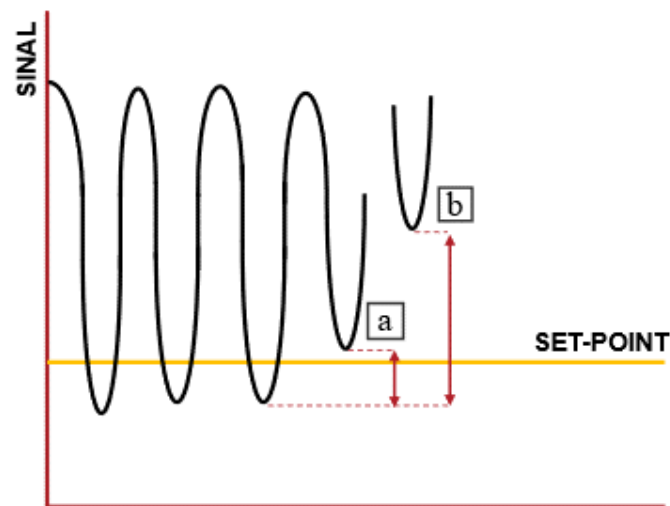


Figura 3.6: Esquema representativo da variabilidade de sinal entre caixa completa e caixa com garrafa vazia/partida (a) e entre caixa completa e caixa sem garrafa (b) ao longo do tempo.

Como foi referido anteriormente, se uma caixa sem uma garrafa passar pelo inspetor, o vale correspondente à fila incompleta será mais elevado comparado com o das restantes filas, uma vez que a absorção de radiação foi menor. Por outro lado, se numa fila existir uma garrafa vazia ou partida, a absorção de radiação será também menor comparando com as restantes filas, mas superior à absorção de uma fila sem garrafa. Assim, o vale para uma fila sem garrafa será superior ao vale para uma fila com garrafa vazia ou partida, e ambos superiores ao vale para uma fila completa, como representado no esquema da figura 3.6. O vale para fila com garrafa vazia ou partida é mais próximo do vale para fila completa e mais afastado do vale para fila sem garrafa devido ao líquido absorver menos radiação do que o vidro.

Com o tempo, o que se verificou foi que o sinal de caixas OK e NOK diminuía ininterruptamente até valores próximos de zero, fazendo com que fosse impossível estabelecer um *set-point* apropriado, que ao mesmo tempo permitisse a rejeição de caixas sem garrafa, com garrafa vazia ou partida e não resultasse em falsas rejeições.

3.2. Plano de ensaio e amostragem

3.2.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula

De modo a avaliar a *performance* do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula realizou-se um levantamento de todos os programas de inspeção do inspetor (presentes na tabela A.1 do anexo A) e, de acordo com o plano de enchimento semanal, prepararam-se as garrafas teste e realizaram-se os respetivos ensaios.

Para cada tipo de garrafa e tara preparou-se um total de 6 garrafas teste, de modo a incluir todas as possíveis combinações de defeitos. Na tabela A.2 do anexo A encontra-se representado o quadro que foi preenchido para cada programa aquando do momento do ensaio. Também nesta tabela é possível perceber o plano de ensaio que foi seguido aquando da preparação das garrafas teste.

De modo a perceber se o inspetor avaliava de forma correta a pressão interna, metade das garrafas foram cheias com água (PI NOK) e as restantes com cerveja (PI OK). Note-se que as garrafas cheias com água foram cheias até nível OK, para garantir que apenas eram rejeitadas pelo inspetor estudado. Relativamente à cápsula, quatro garrafas foram capsuladas com cápsulas adequadas (CS OK) ao líquido que estava a encher, enquanto as restantes foram capsuladas com cápsulas diferentes (CS NOK). Além disso, duas das cápsulas adequadas foram riscadas (PQ NOK).

A garrafa teste 1 correspondeu a uma garrafa retirada da linha, após pasteurização (para garantir pressão interna adequada pelo aquecimento do líquido), e funcionou como referência pois deveria ser a única aprovada pelo inspetor (PI OK, CS OK e PQ OK). Assim, as restantes garrafas teste deveriam ser rejeitadas por um ou dois parâmetros diferentes.

Relativamente à garrafa teste 2, esta foi cheia com água e capsulada com uma cápsula adequada, de modo a ser rejeitada apenas por pressão interna (PI NOK, CS OK e PQ OK). Por sua vez, a garrafa teste 3 foi igualmente cheia com água, mas capsulada com cápsula diferente (PI NOK e CS NOK). De forma a ser rejeitada por pressão interna e qualidade de impressão da cápsula, a garrafa teste 4 foi cheia com água e capsulada com cápsula adequada, mas riscada (PI NOK, CS OK e PQ NOK).

No que concerne a garrafa 5, esta foi cheia com cerveja e capsulada no capsulador da linha com uma cápsula diferente (PI OK e CS NOK) e posteriormente colocada no

pasteurizador. Por fim, a garrafa teste 6, tal como a garrafa teste 1, correspondeu a uma garrafa retirada da linha de enchimento após pasteurização, mas com cápsula riscada (PI OK, CS OK e PQ NOK).

Relativamente ao parâmetro PQ, os testes realizados foram focados em cápsulas riscadas. Torna-se assim importante a distinção dos riscos em diferentes critérios, nomeadamente a quantidade de riscos, a sua espessura e comprimento e se se encontram sobre ou fora da decoração. Idealmente também se classificariam os riscos consoante a sua profundidade (riscos superficiais ou profundos) dado que riscos profundos podem levar ao desenvolvimento de ferrugem, por exemplo, sendo por isso considerados defeitos funcionais. No entanto, uma vez que o inspetor não tem a capacidade de distinguir a profundidade dos riscos, pois a inspeção é realizada através de imagem, não se destacou este aspeto.

A proposta de danos de cápsulas consistiu na definição de 3 riscos *standard* (2 fora da decoração e 1 sobre a decoração) de modo que no futuro, após validação, seja possível preparar garrafas teste padrão. Para além disso, foi necessário perceber qual a ferramenta adequada a utilizar para a confeção dos riscos. O modelo dos riscos consistiu em:

- 1 desgaste com 2,5 mm ou mais fora da decoração, ou seja, uma cápsula com 2 desgastes também é considerada NOK;
- 5 riscos com 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento fora da decoração;
- 1 risco com 1,3 mm de espessura e 1 cm de comprimento na palavra BOCK para cápsulas SB (risco horizontal na zona entre a letra “C” e “K” e sobre a letra “O”) ou 1 risco com 1,3 mm de espessura e 1 cm de comprimento sobre a decoração nas restantes cápsulas.

Note-se que, no caso de cápsulas totalmente decoradas, como é o caso da cápsula de *Coruja*, tanto os desgastes como os 5 riscos com 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento devem ser efetuados sobre a decoração. No caso oposto, cápsulas sem decoração, como a cápsula *Cristal* ROPP, todos os riscos devem ser efetuados em qualquer ponto da cápsula. Na figura A.1 do anexo A encontra-se uma representação fotográfica destes 3 casos.

3.2.2. Inspetor de caixas

O tema da variabilidade de sinal sentida no inspetor de caixas surgiu de ocorrências na L1, no entanto, e uma vez que os equipamentos são os mesmos, também se tornou tema nas linhas de enchimento 2 e 5. Com base no diagrama de Ishikawa apresentado na figura 3.5, desenvolveu-se um plano de ensaio adequado para testar caixas sem garrafa, com garrafa vazia e com garrafa partida de modo a perceber qual ou quais variáveis contribuíam em maior peso para esta problemática. Assim, testaram-se para estas três condições as seguintes variáveis:

- Fileiras de controlo;
- Posição de controlo;
- Fornecedor de vidro;
- Material de embalagem;
- Tipologia de cartão.

No que concerne as fileiras e posições de controlo, criou-se um mosaico para cada formato de caixa/tabuleiro que enche nas linhas de enchimento referidas. Na figura 3.7 é apresentado o mosaico definido para a caixa de 30 garrafas, sendo os restantes mosaicos apresentados na figura B.1 do anexo B.

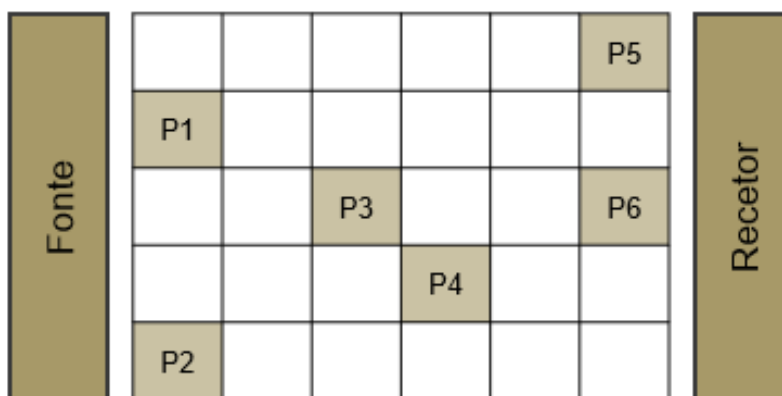


Figura 3.7: Posições de controlo definidas para caixa de 30 garrafas.

Definiu-se para cada formato seis posições de controlo, número este considerado suficiente para este tema, tendo em conta a posição da fonte de raios-X e do recetor. Das seis posições, duas encontram-se na primeira fileira, duas na última fileira e duas na(s) fileira(s) do meio. Teve-se o cuidado de definir pelo menos uma posição de controlo em cada fila para perceber se o gráfico resultante estava de acordo com o esperado e para garantir uma amostragem adequada. As restantes variáveis dizem respeito ao material,

nomeadamente o fornecedor de vidro, o material de embalagem (caixa ou tabuleiro) e a tipologia de cartão (cartão com maior ou menor espessura).

Como o presente tema também se manifestou na L2 e na L5, de forma a comparar a robustez de sinal entre linhas de enchimento também se realizaram ensaios nestas linhas. Estes ensaios foram realizados tendo em conta o plano de enchimento semanal e a disponibilidade de colegas para auxiliar na testagem devido às diferentes configurações e posições dos equipamentos. Na tabela B.2 do anexo B é apresentado o plano de ensaio seguido em cada teste.

3.3. Metodologia experimental e materiais e equipamentos utilizados

3.3.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula

A preparação das garrafas teste mencionadas no capítulo 3.2.1 depende da tipologia de cápsula adequada à garrafa e à tara da mesma. O modo de preparação das garrafas teste capsuladas com cápsulas coroa e *pull-off*/ROPP é apresentado de seguida, sendo dividido em garrafas com pressão interna não conforme e com pressão interna conforme, para mais fácil compreensão.

- Garrafas teste capsuladas com cápsulas coroa:
 - PI NOK (garrafas teste 2, 3 e 4):
 1. Recolher três garrafas vazias da linha e duas cápsulas adequadas e uma cápsula diferente;
 2. Encher as garrafas com água numa balança de precisão (METTLER TOLEDO) até ao valor adequado para nível OK, por exemplo para garrafas de 0,33 L, enche-se com água até 330 g;
 3. Tapar as garrafas com parafilme para evitar o contacto da água com o ambiente e perdas de volume;
 4. Capsular manualmente num equipamento apropriado, duas garrafas com cápsulas adequadas (garrafas teste 2 e 4 – CS OK) e uma garrafa com cápsula diferente (garrafa teste 3 – CS NOK);
 5. Riscar com uma ferramenta apropriada uma das cápsulas adequadas (garrafa teste 4 – PQ NOK);
 6. Identificar as garrafas teste com número e conteúdo e usar fitas de cores vivas para fácil distinção das restantes garrafas da linha.
 - PI OK (garrafas teste 1, 5 e 6):

1. Recolher duas garrafas da linha de enchimento já pasteurizadas e riscar uma das cápsulas (garrafa teste 6 – PQ NOK);
 2. Pedir a um operador para capsular uma garrafa com cápsula diferente (garrafa teste 5 – CS NOK) no capsulador da linha e colocar a mesma no pasteurizador (dentro de uma grade para ser facilmente identificada e retirada);
 3. Identificar as garrafas teste com número e conteúdo e usar fitas de cores vivas para fácil distinção das restantes garrafas da linha.
- Garrafas teste capsuladas com cápsulas *pull-off* e ROPP:
 - PI NOK (garrafas teste 2, 3 e 4):
 1. Recolher três garrafas vazias da linha e uma cápsula diferente;
 2. Encher as garrafas com água numa balança de precisão (METTLER TOLEDO) até ao valor adequado para nível OK;
 3. Tapar as garrafas com parafilme para evitar o contacto da água com o ambiente e perdas de volume;
 4. Pedir a um operador para capsular uma das garrafas na linha com a cápsula diferente recolhida (garrafa teste 3 – CS NOK) e as restantes garrafas com cápsulas adequadas (garrafas teste 2 e 4 – CS OK);
 5. Riscar com uma ferramenta adequada uma das cápsulas adequadas (garrafa teste 4 – PQ NOK);
 6. Identificar as garrafas teste com número e conteúdo e usar fitas de cores vivas para fácil distinção das restantes garrafas da linha.

Para as garrafas teste com cápsulas *pull-off* e ROPP e PI OK, o procedimento seguido foi o mesmo que para garrafas teste com cápsulas coroa e PI OK já descrito. Note-se que as garrafas teste para avaliação de PI devem ser cheias até nível OK para evitar que sejam também rejeitadas no inspetor de nível.

Com base nos testes realizados ao PQ, elaborou-se um método de preparação de 3 garrafas teste para o autocontrolo que devem ser preparadas pelo Controlo de Qualidade. Este método, foi ainda traduzido para uma instrução de trabalho. As garrafas devem ser preparadas para cada programa de inspeção e o método seguido para a produção dos riscos é apresentado de seguida:

1. Recolher 3 garrafas capsuladas e pasteurizadas da linha de enchimento;

2. Risco na decoração:
 - a. Delinear com uma régua e um objeto afiado um risco com 1 cm de comprimento (ter atenção à localização exata do risco);
 - b. Com uma ferramenta rotativa portátil (MaAnt D1 – figura A.2 do anexo A) riscar a cápsula até o risco atingir a espessura de 1,3 mm (para medir a espessura deve usar-se um paquímetro).
3. Desgaste fora da decoração:
 - a. Com uma ferramenta rotativa portátil riscar a cápsula fora da decoração em movimentos circulares;
 - b. Parar quando atingir o tamanho pretendido ($\geq 2,5$ mm).
4. Riscos fora da decoração:
 - a. Delinear com uma régua e um objeto afiado 5 riscos com 8 mm de comprimento;
 - b. Com uma ferramenta rotativa portátil riscar a cápsula sobre os riscos produzidos até cada um atingir 0,4 mm de espessura (para medir-se a espessura deve utilizar-se um paquímetro).
5. Identificar cada garrafa teste com “PQ NOK” numa etiqueta e colocar uma fita colorida para fácil distinção das restantes garrafas.

Após a preparação das amostras realizou-se o respetivo teste na linha de enchimento, de acordo com o seguinte procedimento:

1. Colocar a garrafa teste na linha antes de passar na rotuladora (a rotuladora encontra-se imediatamente antes do inspetor de pressão interna e cápsula) de modo que a garrafa passe no inspetor;
2. Verificar se o inspetor aprovou/rejeitou corretamente a garrafa teste e, se rejeitou, se essa rejeição apenas foi contabilizada uma vez;
3. Repetir o processo para todas as garrafas teste;
4. Recolher as garrafas teste.

Os testes, preferencialmente, foram realizados à velocidade da linha. No entanto, quando o mesmo não foi possível, passaram-se as garrafas à velocidade “manual” (10000 garrafas/h).

Note-se que o procedimento anteriormente descrito foi realizado sempre por duas pessoas. Uma pessoa colocou as garrafas na linha e a outra examinou as classificações do

inspetor. Também, no caso de garrafas teste aprovadas pelo inspetor, teve-se o cuidado de as remover da linha.

Relativamente ao material e equipamentos utilizados, tanto na preparação das garrafas teste como na execução dos testes, estes encontram-se listados na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Materiais e equipamentos utilizados na preparação das garrafas teste e na execução dos testes.

Material	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pipetas de Pasteur; ▪ Recipientes; ▪ Parafilme; ▪ Cápsulas sem decoração; ▪ Grades para transporte; ▪ Etiquetas; ▪ Fitas adesivas coloridas; ▪ Régua; ▪ Paquímetro.
Equipamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balança de precisão (METTLER TOLEDO); ▪ Capsulador manual de cápsulas coroa; ▪ Ferramenta rotativa portátil (MaAnt D1); ▪ Inspetor de Pressão Interna e Cápsula (BBULL Technology).

Nas linhas de enchimento é obrigatório o uso de equipamento de proteção individual, nomeadamente botas, colete refletor, óculos, chapéu de proteção, luvas e tampões para os ouvidos.

3.3.2. Inspetor de caixas

Para acompanhar a variabilidade de sinal do inspetor de caixas da L1 não foi necessária a preparação de amostras. Neste caso, as amostras utilizadas foram caixas ou tabuleiros de produto acabado de diferentes formatos.

Os sinais recebidos no recetor foram avaliados para caixa sem garrafa, caixa com garrafa vazia da mesma tara e caixa com garrafa “partida”. Relativamente à garrafa “partida”, por razões de segurança utilizou-se uma garrafa vazia com tara inferior ou uma garrafa da mesma tara cheia até baixo do pescoço.

Em seguida é apresentado o método seguido, independentemente do equipamento:

1. Passar uma caixa OK 5 vezes pelo inspetor e registar os sinais;
2. Registrar os sinais de 5 caixas diferentes;
3. Abrir a tampa de uma caixa e retirar a garrafa da posição 1;
4. Passar a caixa pelo inspetor 2 vezes e registar os sinais obtidos para o vale da posição 1;
5. Na mesma caixa, trocar a posição da zona sem garrafa para a posição 2;
6. Repetir os pontos 4 e 5 para todas as posições;
7. Ordenar as garrafas e colocar uma garrafa vazia da mesma tara na posição 1;
8. Passar a caixa pelo inspetor 2 vezes e registar os sinais obtidos para o vale da posição 1;
9. Na mesma caixa, trocar a posição da garrafa vazia para a posição 2;
10. Repetir os pontos 8 e 9 para todas as posições;
11. Retirar a garrafa vazia e substituir por uma cheia;
12. Retirar uma garrafa da posição 1 e substituir por uma garrafa “partida”;
13. Passar a caixa pelo inspetor 2 vezes e registar os sinais obtidos para o vale da posição 1;
14. Na mesma caixa, trocar a posição da garrafa “partida” para a posição 2;
15. Repetir os pontos 13 e 14 para todas as posições;
16. Descartar as caixas utilizadas.

Este procedimento foi realizado obrigatoriamente por duas pessoas quando a linha de enchimento se encontrava em funcionamento, de modo a garantir que se registavam os sinais corretos aquando da passagem da caixa pelo inspetor. Quando a linha se encontrava parada, dependendo da disposição do equipamento em cada linha, o procedimento pôde ser realizado apenas por uma pessoa. À semelhança dos testes realizados no inspetor de pressão interna e imagem de cápsula, teve-se o cuidado de remover caixas NOK sempre que não eram rejeitadas pelo inspetor.

O material e equipamento utilizados, para além do equipamento de proteção individual, são apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Materiais e equipamentos utilizados no acompanhamento da variabilidade do inspetor da L1.

Material	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garrafa “partida”; ▪ X-ato; ▪ Fita autocolante.
Equipamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inspetores de Caixas (BBULL Technology).

3.4. Resultados e análise de resultados

3.4.1. Inspetor de pressão interna e imagem de cápsula

Ao longo do estágio curricular, em consequência do plano de enchimento semanal, foi possível avaliar 16 dos 17 programas de inspeção do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula da L6. No início do estágio existiam apenas 16 programas, uma vez que o programa de SB *TOUT* e SB *Negra Sin Alcool* era o mesmo. As validações foram realizadas segundo o procedimento descrito no subcapítulo 3.3.1, conseguindo-se validar:

- O contador de rejeições de todos os programas avaliados;
- Os módulos de inspeção de pressão interna e formato de cápsula de todos os programas avaliados;
- O módulo de inspeção de qualidade de impressão de 15 dos 16 programas avaliados.

Torna-se ainda necessário referir que dos programas validados 2 programas necessitaram de ajustes no módulo de inspeção de PQ (SB IDR e *Cristal 0,33 L*). Ainda, durante o período de estágio, não foi possível acompanhar os ajustes ao módulo de inspeção de PQ no programa de *Cristal 1 L*, no entanto a necessidade de ajuste foi comunicada à manutenção do Super Bock Group. Devido à incompatibilidade com o plano de enchimento ou o produto não ter sido cheio durante a duração do estágio curricular, o programa a que não foi realizada qualquer avaliação foi *Carlsberg Alumínio*.

No que concerne o módulo de inspeção de pressão interna verificou-se que nenhuma garrafa cheia com cerveja pasteurizada foi rejeitada e que todas as garrafas teste com água foram rejeitadas, à exceção do programa de *Super Bock Green*. Neste caso, o inspetor não conseguiu detetar 2 das 3 garrafas teste com água preparadas para o ensaio. Como referido no subcapítulo 3.1.1, o inspetor apenas avalia pressão insuficiente, de

modo que foi necessário o aumento do limite mínimo de aceitação. Com esse aumento, o inspetor detetou com sucesso todas as garrafas com água.

É importante referir que em todos os arranques de um novo produto é realizado um autocontrolo, no qual também se avalia a pressão interna. Nesse autocontrolo, no dia da realização do teste, a garrafa de controlo de PI foi rejeitada. No entanto, o facto das garrafas teste terem sido preparadas momentos antes de serem passadas pelo inspetor não influencia o valor da pressão (a concentração de CO₂ dissolvido, aliada à temperatura da água da torneira, faz com que a pressão do líquido seja inferior à pressão da cerveja pasteurizada), daí ter sido necessária uma intervenção. Após essa, o inspetor começou a rejeitar corretamente, situação que se prolongou ao longo do tempo, tendo sido validado este módulo de inspeção.

Ainda relativo ao módulo de inspeção de pressão interna torna-se importante salientar que cerveja não pasteurizada é também rejeitada neste módulo. Isto acontece, pois, a cerveja é cheia a baixas temperaturas (próximas dos 4 °C) que faz com que, independentemente da concentração de CO₂ dissolvido ser a mesma que na cerveja pasteurizada, a pressão do líquido seja insuficiente para ser aprovada.

Relativamente à imagem da cápsula, apurou-se que nenhuma cápsula adequada foi rejeitada, tanto a nível de CS como de PQ. Dependendo do programa, para avaliar o CS utilizaram-se cápsulas inadequadas diferentes, isto é, por exemplo, para avaliar CS em *Carlsberg 0,0%* capsularam-se as garrafas teste com cápsulas de SB 0,0% e para avaliar SB Alumínio capsularam-se as garrafas teste com cápsulas brancas sem decoração. Quanto à avaliação da imagem de cápsula no seu todo retiraram-se algumas conclusões principais:

- Cápsulas com a mesma decoração, mas com cores diferentes (SB 0,0% vs SB *STOUT* ou *Carlsberg Original* vs *Carlsberg 0,0%*, por exemplo) são rejeitadas por PQ e não por CS, uma vez que as artes finais são as mesmas, diferindo apenas na cor;
- No programa de *Cristal 1 L* o inspetor rejeita cápsulas de SB Original 1 L por PQ e não por CS. Isto acontece porque as cápsulas de *Cristal ROPP* não apresentam decoração, sendo o único padrão detetado a circunferência que contorna a cápsula e que também existe para cápsulas SB Original ROPP. No anexo A, figura A.3, está presente uma imagem para melhor compreensão deste assunto;

- A passagem de cápsulas de SB *STOUT* quando estava a encher SB *Negra Sin Alcool* não resultava em nenhum tipo de rejeição, uma vez que o programa era o mesmo. No entanto, a cor das cápsulas não é totalmente igual (figura A.4 do anexo A), daí se ter considerado necessária a criação de um programa exclusivo para SB *Negra Sin Alcool*.

A respeito do último ponto mencionado, o programa de SB IDR engloba as cápsulas de SB Original, de SB Alumínio e de SB s/ Álcool. Também neste caso, as artes finais são iguais, no entanto a circunferência e o *lettering* presentes no topo da cápsula apresentam cores diferentes. Note-se que a cápsula de SB Alumínio apresenta o mesmo aspeto da SB s/ Álcool. Neste contexto não se considerou crítica a separação dos programas visto que o contraste entre as cores não é tão evidente, quando comparado com SB *STOUT* e SB *Negra Sin Alcool*. Ainda, observando as imagens capturadas pelo inspetor aquando da passagem destas cápsulas, não se identificam diferenças apreciáveis (visível na figura A.5 do anexo A).

Um aspeto relevante na avaliação dos módulos de inspeção de imagem é o diâmetro de inspeção, que pode ser manipulado pelos técnicos da manutenção do Super Bock Group. É na área limitada pelo diâmetro de avaliação que o inspetor investiga a presença de falhas. Verificou-se em todos os programas avaliados que o diâmetro em causa era adequado para a cápsula em avaliação, à exceção do programa de SB 0,0%. Para esse, foi necessário um aumento do diâmetro, como se pode observar na figura A.6 do anexo A.

Atente-se ainda que o diâmetro definido não deve ultrapassar o diâmetro do topo da cápsula, uma vez que pode levar a falsas rejeições. Geralmente, define-se um diâmetro inferior ao diâmetro do topo da cápsula, de modo que a velocidade dos transportadores e a posição da garrafa não interfiram na leitura.

No que respeita o módulo de inspeção de qualidade de impressão, previamente à definição e aprovação da proposta de danos de cápsula considerados NOK mencionada no subcapítulo 3.2.1, considerava-se que o programa necessitava de ajuste quando a cápsula se encontrava exageradamente riscada e não era rejeitada. Casos desses aconteceram no programa de SB IDR, estando na figura A.7 do anexo A alguns exemplos destes casos.

Inicialmente para proposta de danos/defeitos de cápsulas considerou-se atribuir a classificação de NOK a cápsulas com 5 riscos de 0,2 mm de espessura e 8 mm de comprimento. No entanto, após testar o programa de SB IDR com garrafas de SB 0,66 L entendeu-se que não seria possível ajustar o inspetor de tal forma que se conseguisse rejeitar esses danos e, ao mesmo tempo, evitar falsas rejeições. Para esse mesmo programa testou-se uma cápsula com 5 riscos de 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento, tendo o inspetor conseguido detetar os mesmos e rejeitar a cápsula (figura A.8 do anexo A).

A passagem das garrafas teste foi realizada 10 vezes por garrafa, o que permitiu verificar que em alguns programas, nem todos os riscos eram detetados. No entanto, foram sempre detetados 2 ou mais riscos em cada programa, não se considerando necessário nenhum ajuste. No anexo A, nomeadamente na figura A.9, apresentam-se algumas imagens dos danos que foram detetados para este tipo de cápsula.

À proposta de dano sobre a decoração com 1,3 mm de espessura e 1 cm de comprimento foi acrescentada a localização do mesmo nas cápsulas de SB, nas quais o *lettering* corresponde à decoração. Com os testes, percebeu-se que a zona onde se aplicava o dano era importante, visto que é necessário espaço suficiente para contraste. Considerou-se ideal que se danificasse a cápsula na palavra “BOCK” de forma a que o risco passasse horizontalmente no espaço vazio da letra “O” e entre as letras “C” e “K”, como exemplificado na figura A.10 do anexo A.

Assim, apresenta-se de seguida como exemplo os resultados obtidos para a testagem do programa de SB s/ Glúten e do programa de *Cristal* 0,33 L para o módulo de inspeção de PQ.

Relativamente ao programa de SB s/ Glúten, todos os 3 danos em todas as 10 passagens foram devidamente rejeitados. Na figura 3.8 encontram-se representadas as imagens capturadas pelo inspetor aquando da inspeção de imagem no programa referido. Delineadas a roxo situam-se as zonas que foram detetadas e identificadas pelo inspetor como erro na decoração e que resultaram na posterior rejeição das garrafas teste. Note-se que numa das cápsulas se efetuaram dois desgastes, devendo a cápsula ser também rejeitada.

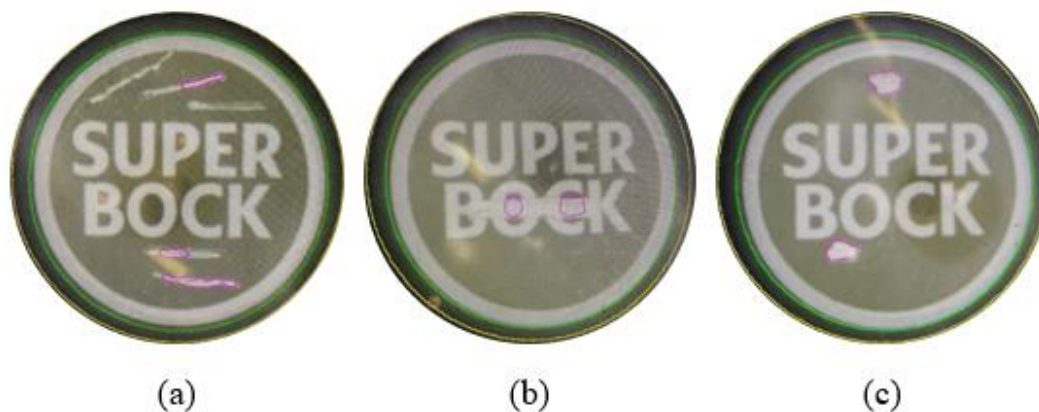


Figura 3.8: Imagens das cápsulas de SB s/ Glúten, com as zonas que foram identificadas pelo inspetor como NOK representadas a roxo.

Pela observação da figura 3.8 percebe-se que todas as cápsulas foram rejeitadas, uma vez que o inspetor detetou danos de impressão em todas. Como mencionado anteriormente neste subcapítulo, nem todos os 5 riscos são sempre detetados. Considera-se que o módulo de inspeção de PQ se encontra validado de acordo com este defeito se o inspetor conseguir detetar pelo menos 2 dos 5 riscos. Na secção “b” da figura mencionada constata-se que uma das zonas detetadas como NOK pelo inspetor foi o espaço vazio da letra “O” e o espaço entre as letras “C” e “K”, caso comum aos restantes testes em cápsulas SB. No caso dos desgastes ilustrados na figura 3.8-c, verifica-se que ambos foram detetados na íntegra, caso que se verificou para as restantes cápsulas testadas.

No que concerne o programa de *Cristal* 0,33 L, constatou-se uma situação diferente das cápsulas de SB, uma vez que a cápsula de *Cristal* apresenta uma tonalidade dourada e uma decoração vermelha e branca. Como o contraste entre a zona dourada e a cor dos riscos é baixa, foram necessários ajustes ao módulo de inspeção de PQ para se validar por completo este programa. Na figura 3.9 encontram-se os resultados finais obtidos para *Cristal* 0,33 L, enquanto na figura A.11 do anexo A se apresentam os resultados iniciais obtidos antes de ajuste.

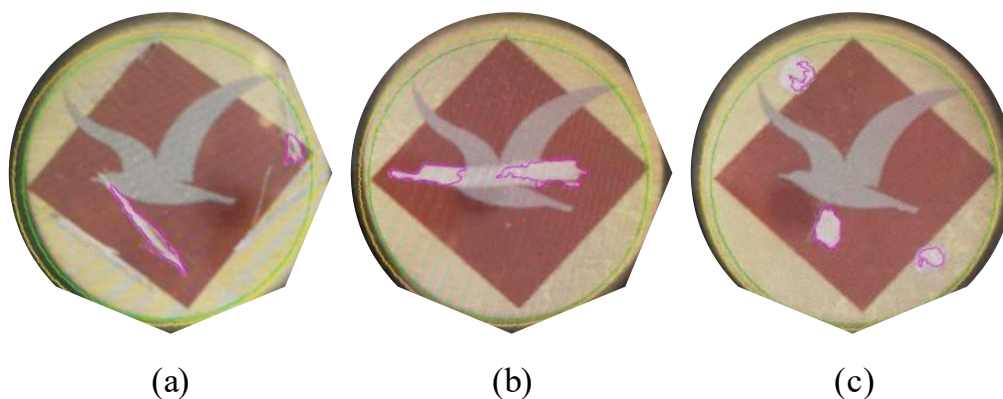


Figura 3.9: Imagens das cápsulas de *Cristal* 0,33 L, com as zonas que foram identificadas pelo inspetor como NOK, depois de ajuste.

Na presente situação verifica-se que, com os ajustes, foi possível a deteção de partes de riscos que não tinham sido identificadas num primeiro teste. Por exemplo, na figura 3.9-a, o inspetor detetou parte de um outro risco, embora apenas na parte vermelha de contraste. No caso da imagem da figura 3.9-b, zonas do pássaro branco foram detetadas em todas as imagens, situação que não se tinha verificado antes de ajuste. Ainda, se conseguiu que parte dos desgastes (figura 3.9-c) fora da decoração tenham sido identificados e rejeitados pelo inspetor. Após os ajustes efetuados, tendo sido testados várias combinações dos mesmos, considerou-se válida a configuração que levou às rejeições observadas, uma vez que permitiu a deteção de um maior número de defeitos, sem causar falsas rejeições.

Assume-se, no caso de cápsula *Cristal* 0,33 L, que pelo menos o desgaste de 2,5 mm ou mais e 1 risco com 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento devem ser efetuados sobre a zona vermelha de contraste da cápsula.

Relativamente ao programa de *Cristal* 1 L, os resultados dos testes mostraram que a cápsula com 1 desgaste fora da decoração com 2,5 mm ou mais não foi rejeitada pelo inspetor em nenhuma das passagens. No entanto, as restantes cápsulas com defeito foram sempre rejeitadas. Como referido, a necessidade de ajuste ao parâmetro de PQ foi comunicada à manutenção da empresa.

Por fim, como referido no início deste subcapítulo, o contador de rejeições estava a funcionar de forma adequada, contabilizando o número correto de garrafas rejeitadas, independentemente da quantidade de motivos de rejeição. Do mesmo modo, o contador

de rejeições para cada parâmetro estava devidamente ajustado em todos os programas avaliados.

3.4.2. Inspetor de caixas

O objetivo do estudo da variação do sinal sentido nos inspetores de caixas, mais especificamente no inspetor da L1, foi perceber qual ou quais os motivos para essa variação. Para tal, numa primeira análise foram realizados testes que tiveram em conta a posição de controlo, a fileira de controlo, o fornecedor de vidro, o formato (caixa vs tabuleiro) e a espessura do cartão. Porém, do resultado destes testes percebeu-se que apenas a posição e fileira de controlo poderiam ter impacto real nos valores de sinal, facto também mais tarde confirmado pela BBULL Technology. Além disso, a marca assegurou que o problema estava relacionado com o equipamento, mais concretamente com o recetor de raios-X.

Os recetores utilizados pela marca e vendidos ao Super Bock Group apresentavam todos um cristal, responsável pela reflexão da radiação. O problema deste assentava no seu rápido envelhecimento, de cerca de 4 meses enquanto deveria durar aproximadamente 7 anos. Ademais, esse envelhecimento resultava numa fraca deteção de sinal, impedindo um ajuste seguro do valor de *set-point* sem resultar em falsas rejeições.

Após o conhecimento desta variante, a BBULL Technology enviou um novo recetor para ser colocado na L1, focando-se o trabalho realizado no acompanhamento do sinal ao longo do tempo, por formato, a partir do momento da troca. Para além disso, foi possível comparar os resultados antes e depois da alteração. Os resultados serão apresentados em forma de gráfico, sendo que cada um é respetivo a um formato específico e compreende os valores de sinal dos vales para as 3 condições estudadas (sem garrafa, garrafa vazia e garrafa “partida”), o valor do *set-point* e o valor médio de sinal dos vales das caixas OK.

Um aspeto que se assumiu importante foi a variação dos valores de sinal de caixas OK diferentes. Como mencionado, cada fila de avaliação corresponde a um vale diferente, existindo também variações entre os valores de sinal para cada fila de garrafas. Posto isto, de modo a não ter em consideração apenas um valor médio de sinal de caixa OK para comparar com o *set-point* e com os valores obtidos para caixa NOK, representou-se em cada gráfico, através de um sombreado verde, uma zona correspondente à média dos sinais dos vales para caixa OK + 3 desvios-padrão. Assim, garantindo uma distribuição

normal dos dados, garante-se a inclusão de 49,87% das ocorrências (acima do valor médio), como exemplificado no anexo B, figura B.2.

No presente capítulo serão apresentados os resultados para os acompanhamentos dos formatos de caixa com enchimento mais recorrente, nomeadamente SB 0,20x15, SB 0,20x24 e SB 0,33x24. Na figura 3.10 encontram-se os resultados de dois testes realizados em formatos diferentes, 0,20x15 e 0,20x24, antes da troca do recetor.

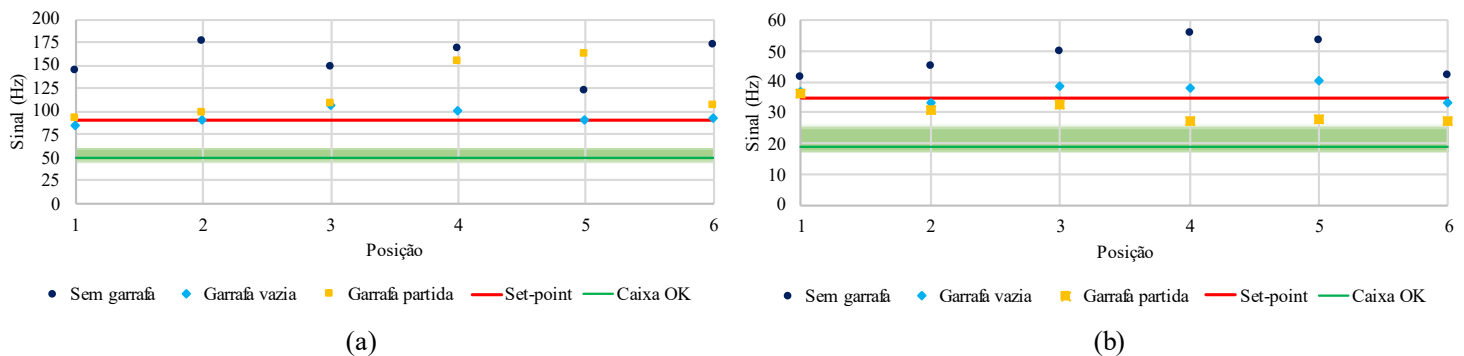


Figura 3.10: Teste realizado para caixa de 0,20x15 (a) e 0,20x24 (b) antes da troca do recetor.

Atente-se que, para melhor visualização dos resultados, se optou pela representação dos mesmos em formato de gráfico com as escalas das ordenadas diferentes, visto que os valores de sinal para 0,20x15 foram superiores aos obtidos para 0,20x24. A presença de mais uma garrafa por fila resulta em menores valores de sinal pois a quantidade de vidro e líquido presente é superior, sendo absorvida mais radiação.

Ainda, embora algumas caixas com garrafa vazia tenham sido rejeitadas no ensaio de 0,20x15, existia margem para diminuir o *set-point* sem causar falsas rejeições e permitindo a rejeição de todas as caixas NOK. Pela análise estatística realizada percebeu-se que, na maioria dos casos, os valores de sinal dos vales para caixa OK variavam entre 20% e 35% do valor médio. Com estes dados, identificou-se possível a definição de um valor de *set-point* adequado igual ou superior a 40% do valor médio de caixas OK.

Para alguns casos, como observável pelo gráfico presente na figura 3.10-b, não seria possível definir um valor de *set-point* nestes termos, uma vez que alguns valores obtidos para caixa com garrafa “partida” coincidirem com valores de sinal de caixa OK. Ainda assim, considera-se elevado o valor de *set-point* de 35 definido no dia do teste para esse formato, acreditando-se que 30 Hz seria um valor mais adequado. Quando não é possível a definição de um *set-point* adequado, considera-se que o cristal terá envelhecido

até um ponto que não permita o correto funcionamento do recetor, devendo este ser alterado.

No anexo B, figura B.3, apresentam-se os resultados obtidos para o teste a caixa de 0,20x24, 4 dias após o teste realizado e representado na figura 3.10-b. Através desse gráfico verifica-se uma descida dos valores de sinal para caixa OK e NOK, tendo o valor médio de caixa OK diminuído para metade neste período.

Para comparar os valores obtidos para diferentes taras de garrafa, no anexo B, figura B.4, encontra-se um gráfico com os resultados para caixa 0,33x24 antes da troca do recetor. Observando a figura mencionada, e comparando com a figura 3.10-b, percebe-se que a tara da garrafa tem influência nos valores de sinal. Isto acontece devido à altura do raio-X ter de ser alterada consoante a tara. A altura do raio-X é projetada para que a radiação incida no pescoço da garrafa, como exemplificado na figura B.5 do anexo B. Numa garrafa com tara superior, o pescoço da mesma é mais largo comparando com os das garrafas de tara inferior, assim a caixa terá de ser mais comprida, embora o número de garrafas em cada fila seja o mesmo, pois é necessário mais espaço para acomodar as garrafas, resultando numa maior absorção de raios-X e menor valor de sinal em cada vale.

Cerca de 2 semanas após o início dos testes, o recetor do inspetor de caixas da L1 foi alterado por um novo da tecnologia com cristal, tendo sido possível acompanhar a variação do sinal do mesmo durante o período de estágio. Na figura 3.11 apresentam-se os resultados obtidos para um teste realizado a caixa de 0,20x15. Note-se que a partir de uma certa fase os testes começaram a ser realizados apenas para caixa com garrafa vazia e para caixa sem garrafa, devido à Direção de Qualidade ter definido como requisito de qualidade a rejeição de caixa com garrafa vazia.

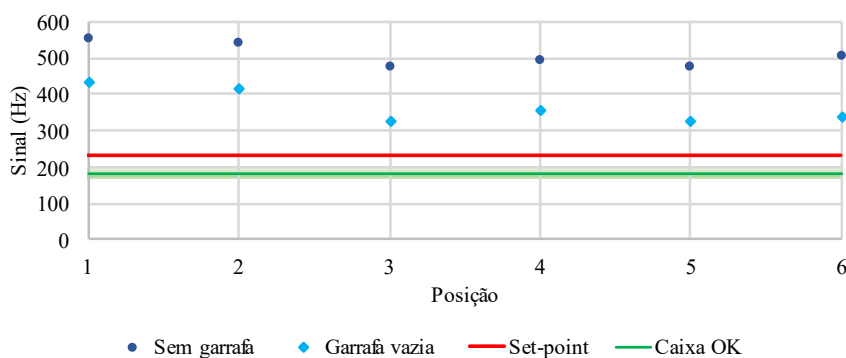


Figura 3.11: Teste realizado para caixa de 0,20x15 após a troca do recetor.

Com a troca do recetor constatou-se o aumento dos valores de sinal, independentemente da condição e do formato, tendo aumentado também a amplitude entre condições e entre estas e o sinal para caixa OK. Esta alteração possibilitou assim a definição mais segura dos valores do *set-point*, de forma a evitar falsas rejeições. Observa-se nas figuras 3.10-a e 3.11 um aumento do valor médio de caixa OK de 50 Hz para 180 Hz e dos intervalos de valores de caixa NOK de entre 75 Hz e 175 Hz para entre 300 Hz e 600 Hz.

De modo a comparar os valores de sinal com o tempo após a troca do recetor apresentam-se na figura 3.12 os resultados de 2 testes realizados para caixa de 0,33x24. Os testes possuem um intervalo de 1 mês entre eles, sendo o primeiro teste realizado representado na figura 3.12-a.

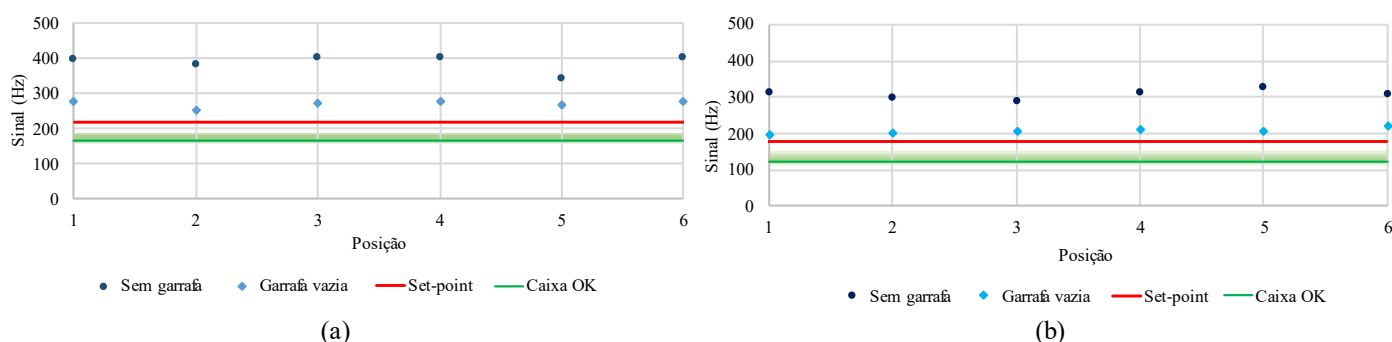


Figura 3.12: Teste realizado para caixa 0,33x24 após troca do recetor, tendo sido o segundo teste (b) realizado 1 mês após o primeiro (a).

Após a troca do recetor observa-se que, com o tempo, os valores de sinal diminuem, como já era expectável pelas experiências obtidas no passado. Para o formato de 0,33x24, em apenas 1 mês o valor médio para caixa OK diminuiu de 165 Hz para 125 Hz, observando-se também pela figura 3.12 que esta diminuição teve impacto no valor do *set-point*, que passou de 220 Hz para 180 Hz. Este comportamento também se verificou para os restantes formatos acompanhados, tendo sido na maioria dos testes necessário proceder a um ajuste no valor do *set-point*.

Desta forma, prevê-se que o comportamento do atual recetor seja o mesmo que se verificou para o anterior, ou seja, não é possível a definição de um valor de *set-point* seguro que possa ser constante com o tempo e que não necessite de ajustes. Ou seja, com esta tecnologia, não é possível a definição e validação de apenas um valor de *set-point*.

No geral, de todos os resultados apresentados é possível assumir que:

- Caixa sem garrafa apresenta sempre valores de sinal mais altos, em relação às restantes condições e aos valores para caixas OK;
- Não se verifica nenhuma tendência específica em relação à posição de controlo para o mesmo formato ou entre formatos. Embora se tenha notado durante a realização dos testes que as posições de controlo localizadas nos cantos da caixa e mais afastadas da fonte de raios-X, habitualmente, resultaram em valores de sinal mais baixos. Ainda, verifica-se individualmente por teste o mesmo comportamento do sinal consoante a posição de controlo para caixas sem garrafa e caixa com garrafa vazia;
- Não se verificaram diferenças de sinal entre caixas com diferentes espessuras e entre diferentes fornecedores de vidro.

De modo a comparar a robustez entre equipamentos de diferentes linhas de enchimento realizaram-se testes na L2 e na L5, que apresentavam equipamentos iguais ao presente na L1, com recetor com cristal. Na figura 3.13 são apresentados dois gráficos referentes ao teste realizado para caixa de 0,20x15 na L2 e para caixa de 0,20x24 na L5.

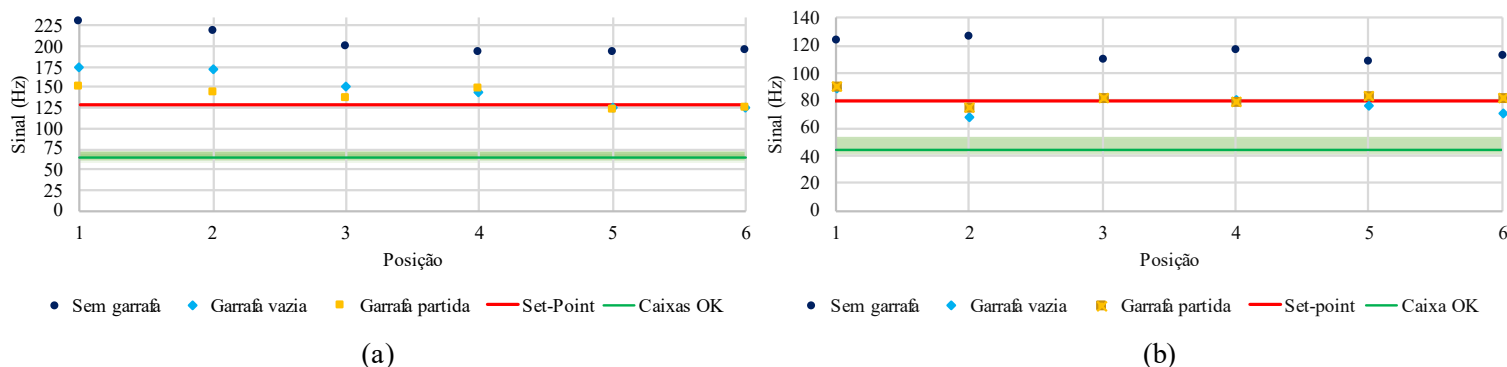


Figura 3.13: Teste realizado para caixa de 20x15 na L2 (a) e para caixa de 0,20x24 na L5 (b).

Os resultados dos testes realizados em diferentes linhas de enchimento não podem ser comparados diretamente entre si, uma vez que cada fonte/recetor apresenta o seu ajuste próprio e o período de tempo após a instalação destes varia consoante o inspetor de caixas. Mesmo assim, é possível verificar que os *set-points* definidos aquando da realização destes testes não foram os mais adequados, visto que permitiam a passagem de caixas com garrafas vazias ou “partidas”, apresentando margem de segurança para diminuição dos valores dos mesmos. Como referido anteriormente, um *set-point* 1,40

vezes superior ao valor médio de sinal para caixas OK teria sido correto para ambos os casos.

Assim, na L2 e na L5 foi possível aferir que, no momento de realização dos testes, com os devidos ajustes nos valores de *set-point*, ambos equipamentos conseguiam detetar corretamente caixas NOK. No final do período de estágio foi possível a instalação de um recetor de uma nova tecnologia sem cristal (com díodo) na L2. Esta peça foi desenvolvida pela BBULL Technology e enviada para o Super Bock Group para que a manutenção procedesse à sua instalação. Com esta nova tecnologia, a BBULL Technology declara que será possível a deteção de caixa com garrafa vazia e que não se espera a diminuição do valor de sinal com o tempo. Porém, não foi possível proceder ao acompanhamento total deste novo recetor, visto que foi necessária a remoção da fonte de raios-X do inspetor de caixas da L2. Ainda, é prevista a instalação de recetores deste tipo nas linhas 1 e 5 até ao final do ano 2022.

Durante o período de estágio foi criada uma instrução de trabalho a ser cumprida pelos operadores da linha. Nessa instrução de trabalho encontra-se descrito o procedimento a seguir para a validação do módulo de inspeção de caixa adequada, de marcação e de análise de caixa completa nos inspetores de caixa com recetor com cristal. Para esta última assumiu-se suficiente a passagem de duas caixas com garrafa vazia em posições diferentes na última fileira de garrafas. Todas as caixas NOK devem ser rejeitadas, caso contrário deve ser alertado o Coordenador do enchimento que terá de proceder ao aviso da manutenção para resolução do problema.

4. Análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular

Assim como o capítulo 3, o presente capítulo é organizado em quatro subcapítulos, sendo eles a caracterização do problema, a definição do plano de ensaio e de amostragem, a metodologia experimental e materiais e equipamentos utilizados e, por fim, os resultados e discussão dos mesmos.

4.1. Caracterização do problema

O tema exposto surgiu devido à atenção do Super Bock Group pelo bem-estar do cliente e da sua experiência de consumo, decidindo-se analisar as variáveis que apresentam mais impacto neste assunto.

Em conjunto com a equipa do departamento de qualidade de PS refletiu-se sobre qual ou quais seriam as principais variáveis, compilando-se as mesmas no diagrama de Ishikawa simplificado apresentado na figura 4.1.

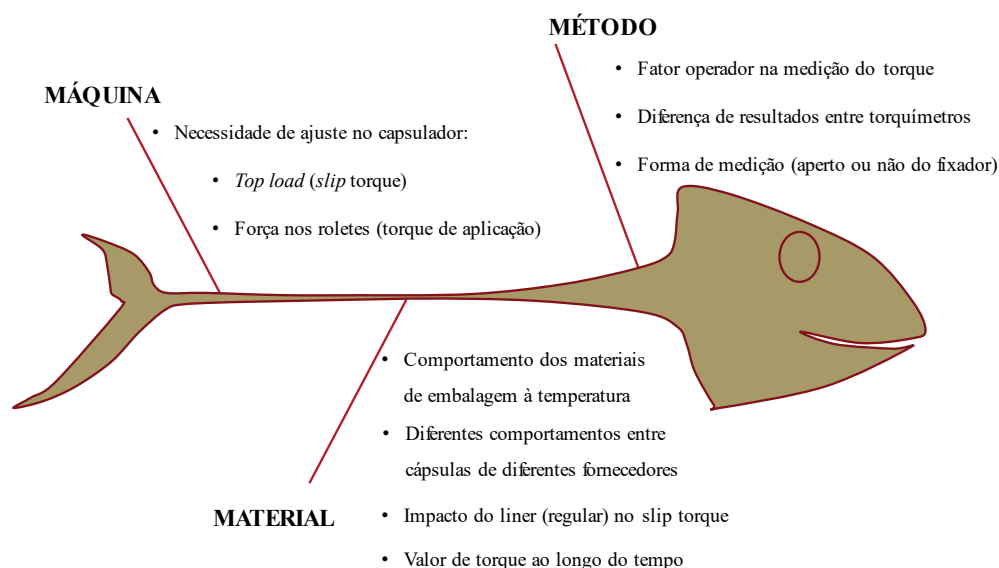


Figura 4.1: Diagrama de Ishikawa sobre a análise das variáveis relacionadas com a abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular.

Do *brainstorming* efetuado, distinguiram-se como principais causas a “máquina”, o “material” e o “método”. Relativamente à “máquina” identificou-se que, se valores de torque elevados, poderiam ser necessários ajustes no capsulador, nomeadamente ao nível da força vertical (*molas/top load*) e/ou da força lateral (roletes), lembrando que ambas são aplicadas na cápsula durante o momento da capsulagem e influenciam o valor de torque. À semelhança do autocontrolo realizado pelos operadores nos inspetores, a

medição do torque em diferentes momentos do enchimento é também um parâmetro avaliado. Deste modo, identificaram-se como possíveis causas da macro causa “método”, o equipamento de medição utilizado, a pessoa que realiza as medições e a forma de medição (modo de procedimento correto). Por fim, no que concerne o “material”, apontaram-se como possíveis causas, o comportamento dos materiais à temperatura (nomeadamente do *liner*), o comportamento diferente entre cápsulas de diferentes fornecedores, o impacto do *liner* no torque (*liner* regular vs *liner* sabores) e a evolução do valor do torque ao longo do tempo.

O torque (τ) é um momento de uma força aplicada sobre um corpo, causando, ou não, a sua rotação em torno de um eixo. Trata-se de uma grandeza vetorial resultante do produto entre a força aplicada (F) e a distância (r) entre o eixo rotacional e o local onde F é aplicada sobre o corpo. Por ser um vetor, o torque apresenta um sentido, uma direção e um módulo, dependendo estes dos vetores \vec{F} e \vec{r} . O módulo do torque é calculado de acordo com a equação 4.1, no qual θ representa o ângulo entre os vetores \vec{F} e \vec{r} . Nas unidades do sistema internacional, o torque expressa-se em N.m (Newton.metro).

$$\tau = F \times r \times \sin \theta \quad (\text{equação 4.1})$$

Através da equação 4.1 é perceptível que, por exemplo, se \vec{F} e \vec{r} tiverem a mesma direção, o torque é nulo e o corpo não se vai movimentar. No caso da direção, se \vec{F} e \vec{r} são perpendiculares ao eixo de rotação, significa que o vetor torque terá a direção desse mesmo eixo de rotação. Por fim, relativamente ao sentido do vetor, este é dado pela regra da mão direita (figura 4.2). Esta regra consiste em abrir a mão direita com os dedos na direção do vetor \vec{r} e, de seguida, fechar os dedos no sentido do vetor \vec{F} , o vetor $\vec{\tau}$ terá o sentido do dedo polegar estendido. O sentido do $\vec{\tau}$ será também determinante no sinal, se a rotação resultante for no sentido contrário aos ponteiros do relógio o seu sinal será positivo. Pelo contrário, se a rotação se der no sentido dos ponteiros do relógio, o torque será negativo.

Na figura 4.2 encontra-se representado o sentido do torque resultante da abertura de uma cápsula ROPP numa garrafa de Água das Pedras Regular.

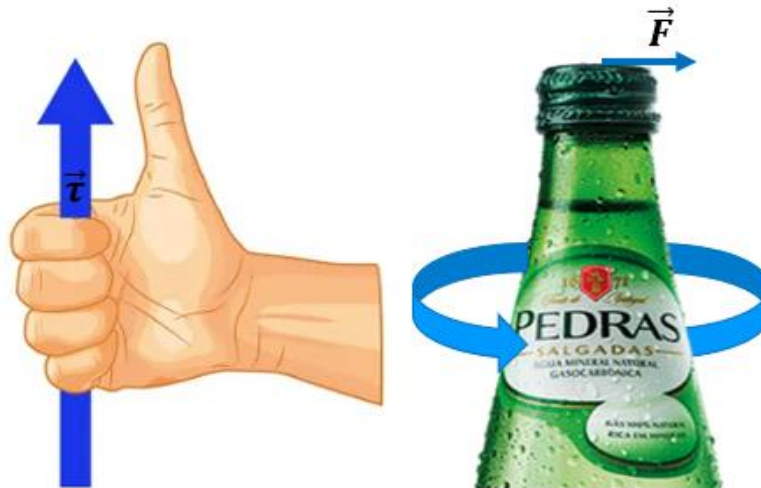


Figura 4.2: Sentido do vetor resultante da aplicação de uma força, no perímetro de uma cápsula ROPP de uma garrafa de Água das Pedras Regular.

No que concerne o presente tema de capsulagem, o torque pode ser distinguido em torque de aplicação e em torque de abertura. O torque de aplicação é exercido aquando da cravação lateral dos roletes na cápsula, enquanto o torque de abertura é realizado pelo consumidor na abertura da cápsula. Segundo a norma ASTM D 3198-97 de 2002, o torque de aplicação e o torque de abertura são definidos respetivamente como “momento de uma força ou sistema de forças que tendem a causar a rotação de uma cápsula sobre a marisa de um recipiente adequado, aplicando e fixando a cápsula no recipiente” e “momento de uma força ou sistema de forças que tendem a causar a rotação de uma cápsula na direção oposta à de aplicação, removendo a cápsula da sua posição inicial na marisa de um recipiente adequado”.

Ainda, o torque de abertura pode ser distinguido em *slip torque* e em *break torque*, sendo que o primeiro diz respeito à rotação inicial da cápsula (sem a quebra das pontes) e o *break torque* refere-se à quebra das pontes e conseqüente separação da banda *pilfer-proof* do topo da cápsula.

4.2. Plano de ensaio e amostragem

Numa fase inicial, para explorar esta problemática, realizaram-se um total de 5 testes de medição de torque de abertura, nos quais se avaliaram diferentes variáveis. Neste caso, quando se refere ao torque de abertura, não se distingue *slip torque* de *break torque*, uma vez que os equipamentos de medição utilizados nestes ensaios só permitiram a medição do valor máximo que, dependendo do tempo e do caso particular, pode

corresponder ao *slip* ou ao *break torque*. Ainda se torna necessário referir que as amostras foram retiradas por cabeça de capsulagem num total de 20 cabeças de capsulagem, sendo que cada 20 amostras correspondem a uma volta completa no capsulador da L1 (linha de enchimento de PS onde enche Água das Pedras Regular). Na tabela 4.1, são listados o âmbito e a ação realizada em cada um dos ensaios.

Tabela 4.1: Descrição síntese dos ensaios de medição de torque realizados.

Ensaio 1 Torque vs Temperatura de armazenamento	Verificar se existem diferenças significativas dos valores de torque para garrafas capsuladas nas mesmas condições, mas armazenadas a temperaturas diferentes. (câmara fria vs temperatura ambiente (TA))
Ensaio 2 Torque vs Equipamento de medição	Comparar os resultados de medição de torque para garrafas capsuladas nas mesmas condições em torquímetros diferentes. (torquímetros 1, 2 e 3)
Ensaio 3 Torque vs Tempo	Comparar os resultados de torque ao longo do tempo. (medições a cada duas semanas)
Ensaio 4 Torque vs Capsulador	Comparar os resultados de torque para garrafas capsuladas em linhas de enchimento diferentes
Ensaio 5 Torque vs Cabeça de capsulagem	Verificar se existem desvios significativos ao longo do enchimento entre cabeças de capsulagem e na mesma cabeça de capsulagem

O ensaio 1 teve como objetivo a comparação do torque necessário para a abertura de cápsulas ROPP em garrafas frias e à temperatura ambiente (TA), de modo a entender se a forma de consumo da bebida teria algum impacto na abertura, devido ao comportamento do *liner* com a temperatura. Também, neste ensaio, se testaram cápsulas de diferentes fornecedores, ou seja, capsularam-se nas mesmas condições garrafas do mesmo lote de vidro com cápsulas de *liner* regular do fornecedor A (AR) e do fornecedor B (BR) e com cápsulas de *liner* sabores do fornecedor A (AS). Note-se que quando se indica que as garrafas foram capsuladas nas mesmas condições se refere ao espaço temporal (durante o mesmo dia), ao equipamento de capsulagem e ao vidro utilizado.

No total realizaram-se dois ensaios em dias diferentes, no primeiro retiraram-se 120 garrafas para teste com cápsulas AR, metade das quais foram armazenadas no frio antes da medição. No segundo ensaio, retiraram-se também 120 garrafas, 40 com cápsulas AR, 40 com cápsulas BR e 40 com cápsulas AS, destas, metade foram armazenadas no frio e as restantes à temperatura ambiente.

No que concerne o equipamento de medição, ou seja, o torquímetro, realizou-se a medição do torque em garrafas frias capsuladas nas mesmas condições, mas em equipamentos diferentes. Mais concretamente em três equipamentos distintos, dois equipamentos no centro produtivo de PS e um no centro produtivo de LB. Este ensaio foi realizado com o intuito de despistar qualquer erro de medição relacionado com o equipamento normalmente utilizado para a realização do autocontrolo. Para este teste foram retiradas 100 amostras que se armazenaram no frio. Em 40 dessas amostras a medição do torque foi realizada no torquímetro 1 (T1), outras 40 no torquímetro 2 (T2) e as restantes no torquímetro 3 (T3).

Com o terceiro ensaio procurou-se perceber se e como o valor do torque varia com o tempo e se essa variação afetaria a abertura das garrafas ao longo do seu tempo de vida útil, comparando os valores de torque obtidos ao longo do tempo com os limites de especificação. As medições foram realizadas ao longo de 26 semanas a cada duas semanas, com início no momento zero, referente ao dia de enchimento.

De forma a perceber se existiriam diferenças significativas entre capsuladores nos valores de torque obtidos, num quarto ensaio, capsularam-se garrafas de vidro do mesmo fornecedor e do mesmo lote com cápsulas do mesmo fornecedor e do mesmo lote em dois capsuladores de linhas de enchimento diferentes. Para este ensaio retiraram-se um total de 105 amostras, representando 3 voltas completas ao capsulador com 20 cabeças de capsulagem (60 amostras) e 3 voltas completas a outro capsulador com 15 cabeças de capsulagem (45 amostras).

No mesmo tema de capsulador, o quinto ensaio foi realizado de modo a verificar se a mesma cabeça de capsulagem resultaria em valores de torque semelhantes entre si ou se poderia existir alguma disparidade entre as medições. Com este ensaio compararam-se ainda os valores de torque entre cabeças de capsulagem. O torque foi medido 6 vezes por cabeça de capsulagem, correspondendo a um total de 120 garrafas. Atente-se que durante este ensaio também se despistou a variável pessoa/método.

Num torquímetro não é possível quantificar em termos de torque a abertura de cápsulas ressoadas, uma vez que o equipamento não exercerá qualquer força de abertura, resultando apenas na rotação da garrafa sem a abertura da cápsula. Por conseguinte, com o objetivo de perceber esta experiência por parte do consumidor, realizou-se um ensaio

de perceção, com inquérito prévio, no qual os participantes teriam de abrir sucessiva e alternadamente uma garrafa de Água das Pedras Regular fria e outra à TA, no total de 5 garrafas de cada condição.

O ensaio de perceção foi realizado no mesmo dia nos centros produtivos de LB e de PS, no qual participaram 7 elementos do centro produtivo de LB e 9 elementos do centro produtivo de PS. Cada elemento necessitou de preencher um inquérito prévio, presente no anexo C, e de realizar o teste de perceção seguindo as seguintes instruções:

1. A comparação entre garrafas deve ser feita sempre a temperaturas diferentes, ou seja, por linha de comparação. Exemplo:
 - ✓ Comparar dificuldade de abertura entre a garrafa à temperatura ambiente vs a temperatura de refrigeração;
 - ✗ Não comparar a dificuldade de abertura entre garrafas refrigeradas ou entre garrafas à temperatura ambiente.
2. Para cada garrafa deve-se identificar a dificuldade de abertura (completando a tabela C.1 do anexo C) de acordo com a legenda abaixo:
 - 1 – Sem dificuldade: Abertura imediata;
 - 2 – Médio: Possível de abrir, mas não imediato;
 - 3 – Difícil: Possível de abrir sem o auxílio de um objeto (pano, guardanapo, etc) ao final de algumas tentativas;
 - 4 – Muito difícil: Não consegue abrir a garrafa sem auxílio de um objeto (pano, guardanapo, etc);
 - 5 – Impossível: Não consegue abrir a garrafa mesmo com o auxílio de um objeto (pano, guardanapo, etc).
3. Entre abertura de garrafas deve-se garantir que as mãos se encontram secas.

Note-se ainda que o lote de garrafas usado neste ensaio foi o mesmo para ambos os centros produtivos.

Adicionalmente realizou-se um *benchmarking* das marcas da concorrência de águas gasocarbónicas, no que diz respeito à capacidade, tipo de cápsula, peso de cápsula, torque de abertura, entre outros. Com este teste pretendeu-se perceber qual a posição de PS face a outras marcas presentes no mercado.

Em função dos resultados dos testes mencionados, apresentados no subcapítulo 4.4, decidiu-se alterar as molas responsáveis pela força vertical aplicada nas cápsulas, de modo que essa fosse menor, diminuindo dessa forma o valor do torque de abertura. Antes dessa mudança realizaram-se uma série de testes para verificar a força vertical de cada mola e a força lateral de cada rolete, bem como a medição do *slip* e do *break torque* em várias amostras.

4.3. Metodologia experimental e materiais e equipamentos utilizados

A medição do torque foi realizada seguindo o procedimento adequado descrito de seguida, sendo o valor resultante de cada medição, o torque de abertura máximo, podendo este corresponder ao *slip* ou ao *break torque*. O procedimento foi realizado para cada ensaio descrito no subcapítulo 4.2, sendo as amostras garrafas de vidro verde de 0,25 L cheias com Água das Pedras Regular e capsuladas com cápsulas ROPP, diferenciando apenas nas condições de capsulagem.

Seguidamente apresenta-se o procedimento seguido para cada medição num equipamento do tipo Mecmesin Vortex-dV (figura C.1 do anexo C):

1. Verificar que o equipamento está na posição “casa” (figura C.2 do anexo C);
2. Abrir os pinos de fixação inferiores e encaixar a garrafa;
3. Prender a garrafa até que não exista espaço entre a base da garrafa e todos os pinos de fixação inferiores;
4. Abrir o fixador e deslizar o mandril superior até que os pinos de fixação superiores cubram a totalidade da cápsula;
5. Prender a garrafa até que não exista espaço entre a cápsula e os pinos de fixação superiores;
6. Zerar a unidade de exibição do torque (figura C.3 do anexo C);
7. Verificar se o fixador se encontra aberto;
8. No painel de controlo pressionar o botão “play” para que a medição seja realizada (figura C.2 do anexo C);
9. Abrir os pinos de fixação superiores, subir os mesmos e fixá-los com o fixador;
10. Abrir os pinos de fixação inferiores e retirar a garrafa;
11. No painel de controlo pressionar o botão “casa” para que o mandril retorne à posição inicial para que se possa realizar uma nova medição;
12. Retirar o líquido das garrafas e descartá-lo;
13. Descartar as garrafas e cápsulas utilizadas.

O processo descrito para a medição do torque tem por base o procedimento realizado num equipamento específico. No entanto, o princípio do método é o mesmo independentemente do equipamento de medição utilizado.

Com o objetivo de avaliar a dificuldade de abertura das cápsulas, tendo em conta fatores extrínsecos à medição do torque, realizou-se ainda um ensaio de perceção como descrito no subcapítulo 4.2. Nesse teste, cada participante seguiu o procedimento descrito:

1. Abrir uma garrafa de Água das Pedras Regular armazenada à temperatura ambiente;
2. Abrir uma garrafa de Água das Pedras Regular armazenada no frio;
3. Comparar a dificuldade de abertura das garrafas, avaliando cada uma de acordo com os critérios descritos na secção 4.2;
4. Secar as mãos com um guardanapo para evitar interferências;
5. Repetir o procedimento para os restantes pares de garrafas.

A medição da força vertical das molas, bem como a medição da força lateral dos roletes foi realizada pela manutenção do centro produtivo de PS segundo os respetivos procedimentos detalhados de seguida.

1. Ajustar a altura da garrafa dinamométrica à altura pretendida (utilizando calços), isto é, a altura nominal da garrafa de PS;
2. Colocar a cápsula sobre a garrafa dinamométrica;
3. Com o equipamento parado, colocar a garrafa dinamométrica sobre um dos pratos do capsulador;
4. Acionar o capsulador (para promover a capsulagem);
5. Ler o valor da força vertical aplicada sobre a cápsula na garrafa dinamométrica;
6. Repetir o processo (pontos 2 a 5) para as restantes cabeças de capsulagem.

Na figura C.4 do anexo C está presente uma imagem da garrafa dinamométrica usada para esta medição, com a altura ajustada à pretendida. Note-se ainda que para nova medição noutra cabeça de capsulagem, não é necessário retirar a cápsula e voltar a capsular (apenas se vai verifica um maior desgaste na cápsula). De modo a visualizar a

forma de medição das forças laterais dos roletes *tuck* e *thread* na figura C.5 do anexo C apresenta-se uma imagem do processo.

1. Colocar o gancho do dinamómetro à volta do rolete a medir;
2. Com o polegar segurar a cabeça de capsulagem como na imagem da figura C.5 do anexo C;
3. Com a outra mão puxar o dinamómetro até sensação de força sobre o dedo polegar (começa a se verificar um ligeiro levantamento da peça);
4. Nesse momento, ler a força lateral aplicada no dinamómetro e registar;
5. Repetir o procedimento para os 4 roletes (2 *tuck* e 2 *thread*) de cada cabeça de capsulagem.

No que concerne os materiais e equipamentos utilizados para a realização dos ensaios, estes encontram-se descritos na tabela 4.2. Para além disso, na recolha das amostras na linha de enchimento é necessário o uso dos equipamentos de proteção individual mencionados no subcapítulo 3.3, de touca e de bata.

Tabela 4.2: Materiais e equipamentos utilizados nos ensaios realizados para a análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular.

Material	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marcador permanente; ▪ Grades para transporte.
Equipamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Torquímetro Mecmesin Vortex-dV; ▪ Garrafa dinamométrica; ▪ Dinamómetro.

4.4. Resultados e análise de resultados

O presente subcapítulo divide-se em 8 diferentes pontos, cada um correspondente a um ensaio específico de modo a conseguir-se uma mais fácil compreensão de todos os temas. Ainda, apenas serão apresentados valores médios das medições realizadas, de modo a não comprometer a confidencialidade da marca no mercado.

4.4.1. Ensaio 1 – Torque vs Temperatura de armazenamento

Internamente, o Super Bock Group apresenta limites de especificação de torque para diferentes combinações de material de embalagem, que podem ou não ser iguais aos limites dos diferentes fornecedores. No caso de garrafa de vidro e cápsula ROPP o torque

deve estar compreendido entre 0,57 N.m e 1,50 N.m, sendo o alvo 1,00 N.m, para que se garanta estanquicidade, mas não seja difícil de realizar a sua abertura.

Relativamente ao presente tema, como referido no subcapítulo 4.2, realizaram-se dois testes em dias diferentes. No primeiro dia mediu-se o torque em garrafas capsuladas nas mesmas condições (cápsulas AR) mas armazenadas em condições diferentes (frio e TA) e no segundo dia as medições realizaram-se em garrafas capsuladas nas mesmas condições com cápsulas de fornecedores diferentes e armazenadas em condições distintas. De notar que todas as medições foram efetuadas no mesmo equipamento no centro produtivo de PS (T1) e que o torque medido foi o máximo, não existindo distinção entre *slip* ou *break torque*. Através destas medições conseguiu-se aferir se:

- Existe diferença significativa entre a forma de abertura de cápsulas frias ou à temperatura ambiente;
- Cápsulas de diferentes fornecedores resultam em diferenças significativas dos valores de torque.

Apresenta-se na figura 4.3, um gráfico dos resultados do primeiro ensaio realizado, nomeadamente a média dos resultados de torque obtidos por cabeça de capsulagem, tanto para garrafas frias como para garrafas armazenadas à temperatura ambiente. Também neste gráfico é perceptível a comparação dos resultados com o valor do alvo (1,00 N.m) e com os limites de especificação, indicados na zona a verde. Neste ensaio, a média do torque das garrafas frias e à TA foi de 1,22 N.m e 1,08 N.m, respetivamente.

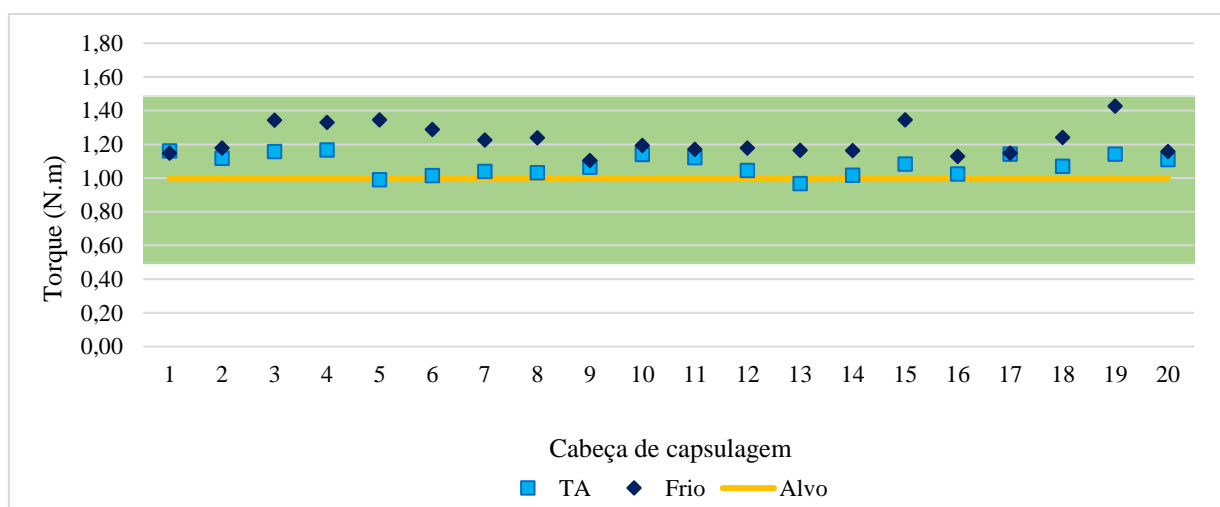


Figura 4.3: Média das medições de torque por cabeça de capsulagem em garrafas capsuladas com cápsulas ROPP AR armazenadas a frio e à temperatura ambiente.

Pela análise do gráfico da figura 4.4, afere-se que todos os resultados se encontravam dentro de especificação, independentemente da condição de armazenamento. Também os resultados para temperatura ambiente foram mais próximos do alvo, enquanto os resultados para garrafas frias se encontravam entre o limite superior de especificação (LSE) e o alvo, concluindo-se que o torque para garrafas frias foi superior ao das garrafas à temperatura ambiente. De modo a perceber se as diferenças observadas eram significativas, realizou-se a análise estatística a este caso, tendo-se utilizado a ferramenta “*Real Statistics*” do Excel para aplicar o teste *t* de *student*, já que o pretendido foi comparar os resultados em duas condições diferentes. A análise detalhada encontra-se no anexo C (figura C.6).

Com a análise estatística verificou-se que as diferenças entre os valores de torque medidos a frio e à TA foram efetivamente significativas. Esta diferença ocorre devido ao comportamento do *liner* com a temperatura. Como referido no capítulo 2, o *liner* é um plástico, sendo mais rígido quanto mais baixa é a temperatura, daí ser necessária maior força para abrir a cápsula, resultando num maior valor de torque, condição que foi verificada pelo fornecedor B.

No segundo ensaio realizado foi possível aferir, mais uma vez, sobre a diferença de torque com a temperatura, mas também sobre a variação de torque entre fornecedores. Na figura 4.4 encontra-se um gráfico com os valores médios obtidos para frio e para TA para cada um dos fornecedores, sendo que neste caso não se diferenciam valores por cabeça de capsulagem.

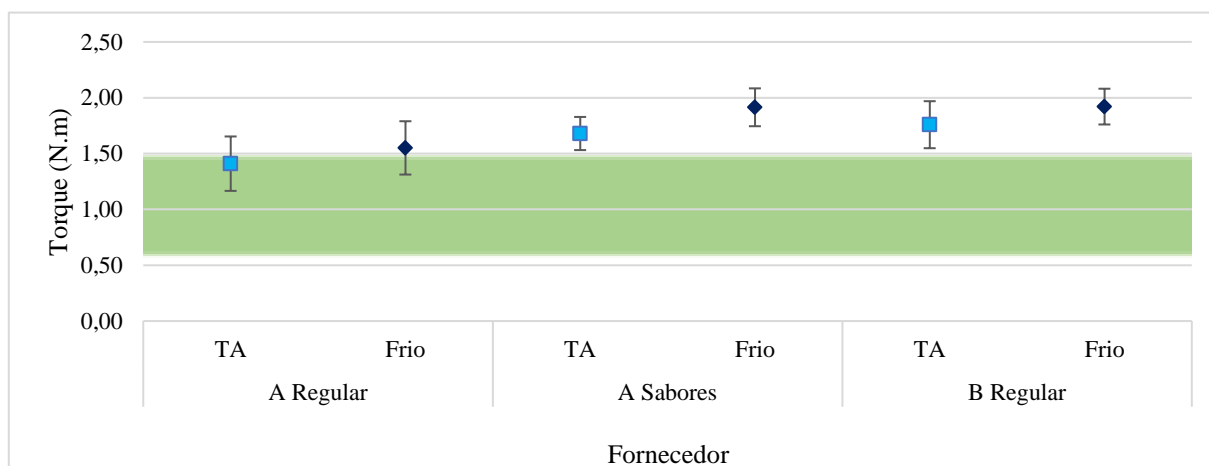


Figura 4.4: Média das medições de torque em garrafas capsuladas com cápsulas ROPP AR, AS e BR, armazenadas a frio e à temperatura ambiente e respetivas barras de erro verticais representativas do desvio padrão.

A observação do gráfico da figura 4.4 permite verificar que para todos os fornecedores existiram medições fora de especificação, tendo sido todas acima do LSE para cápsula AS e BR. Apenas parte dos valores medidos para cápsula AR se encontravam dentro de especificação, encontrando-se a média à TA dentro e a média a frio fora de especificação. Observa-se também uma clara diferença entre os valores medidos à TA e os valores medidos a frio para todos os fornecedores de cápsula, constatando-se sempre que os valores a frio foram mais elevados que os valores à TA.

Comparando com os resultados do teste anterior realizado apenas para AR compreende-se que os valores de torque no segundo ensaio foram mais elevados que os do primeiro, tendo as médias a frio e à TA subido de 1,22 N.m e 1,08 N.m para 1,55 N.m e 1,41 N.m, respetivamente. Relativamente a cápsula AS e BR, neste ensaio a média a frio foi de 1,91 N.m e 1,92 N.m e à TA de 1,68 e 1,76 N.m, respetivamente. Constata-se também que os valores obtidos para AS e BR são mais semelhantes, comparando com os obtidos para AR.

Igualmente ao primeiro teste realizado, também se verificou a existência de diferenças significativas entre os valores medidos a frio e à TA para cada tipo de cápsula, recorrendo ao teste *t* de *student* explicado no anexo C. Também neste anexo, nomeadamente na figura C.7 se indicam os valores obtidos na validação dos pressupostos prévios. Da análise estatística percebeu-se que as diferenças entre os valores de torque a frio e à TA foram significativas para as cápsulas AS e BR, mas foram não significativas para as cápsulas AR. Embora a diferença entre a média de torque a frio e à TA nos dois testes (resultados a frio – resultados à TA) para cápsula AR tenha sido a mesma (0,14 N.m), os resultados individuais das medições apresentaram um maior contributo para este resultado.

De forma a avaliar a diferença entre resultados por fornecedor de cápsula recorreu-se à ferramenta ANOVA, uma vez que se pretendeu distinguir entre 3 conjuntos de resultados. Com a análise ANOVA apenas se consegue verificar se existem ou não diferenças significativas, não se conseguindo identificar qual ou quais são efetivamente diferentes, para isso foi necessário realizar um teste de Tuckey HSD após a análise ANOVA. A partir do teste ANOVA, verificou-se a existência de diferenças significativas tanto nas amostras frias como à TA, tendo sido necessário recorrer a um teste de Tuckey HSD, com o qual se verificou que não existiram diferenças significativas entre os

resultados obtidos para AS e BR, mas ambos foram significativamente diferentes dos resultados obtidos para AR. Isto verificou-se tanto para os resultados a frio como à TA.

A diferença entre os resultados para AR e BR justifica-se pelo facto de os fornecedores serem diferentes e, por isso, detêm limites de especificação diferentes, sendo os limites do fornecedor B mais elevados. Por outro lado, a diferença entre AR e AS justificasse pelo facto de, como Pedras Sabores é um produto que necessita de pasteurização, o *liner* sabores tem de ser mais rígido pois é submetido a elevadas temperaturas, ficando menos rígido no final da pasteurização. Uma vez que neste ensaio nenhuma amostra foi pasteurizada, pois Pedras Regular não é produto pasteurizado, o *liner* de sabores permaneceu com a sua natureza rígida.

4.4.2. Ensaio 2 – Torque vs Equipamento de medição

Com o segundo ensaio, pretendeu-se verificar se os equipamentos de medição, tanto de PS como de LB, resultavam em valores de torque semelhantes quando se analisavam amostras frias capsuladas nas mesmas condições. Neste caso, realizou-se este ensaio em 3 equipamentos distintos (T1, T2 e T3), sendo os resultados de torque por cabeça de capsulagem apresentados na figura 4.5.

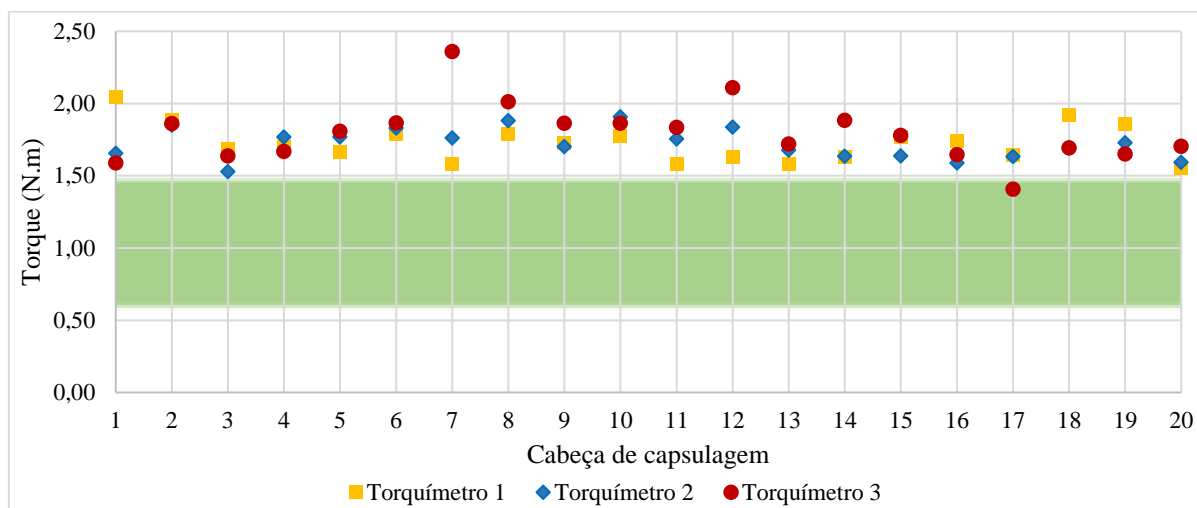


Figura 4.5: Média das medições de torque em torquímetros diferentes por cabeça de capsulagem em garrafas capsuladas nas mesmas condições.

Estudando o gráfico da figura 4.5, entende-se que maioritariamente todos os valores de torque se encontraram acima do LSE, independentemente do equipamento de medição e da cabeça de capsulagem. Isto pode ser comparado com o ensaio anterior realizado para cápsulas de diferentes fornecedores no qual também sucedeu o mesmo, tendo sido as medições do primeiro ensaio realizadas no T1.

No presente ensaio a média de valores de torque foi 1,73 N.m para T1, 1,72 N.m para T2 e 1,79 N.m para T3. É importante também referir que neste ensaio as cápsulas utilizadas foram BR. Comparando com os valores obtidos no ensaio 1 para amostras frias com cápsulas BR, percebe-se ainda que os valores do segundo ensaio são cerca de 10% inferiores aos do primeiro ensaio (para T1).

Estatisticamente, com este ensaio não se verificaram diferenças significativas entre equipamentos de medição. A análise estatística foi realizada recorrendo a um teste de Welch, uma vez que não foi possível utilizar a análise ANOVA devido a nem todos os pressupostos terem sido cumpridos. No anexo C apresenta-se a explicação do teste de Welch, bem como as razões por trás da sua utilização. Esta avaliação permitiu também concluir que independentemente do equipamento de medição utilizado na medição do torque, os resultados foram concordantes entre si.

4.4.3. Ensaio 3 – Torque vs Tempo

O estudo do torque ao longo do tempo revela-se num aspeto bastante importante no que diz respeito à perceção do produto durante o seu ciclo de vida, seja logo após a sua produção, como no momento que chega ao mercado e é depois de facto consumido. Com início na semana 45 de 2021 e ao longo de 26 semanas, foi realizada a medição do torque a cada duas semanas em 20 amostras, 10 frias e 10 à TA com o intuito de perceber se e como variava o valor de torque. Na figura 4.6 é perceptível a variação do torque com o tempo para amostras frias e à TA. De notar que na semana 13 de 2022 não se realizaram medições.

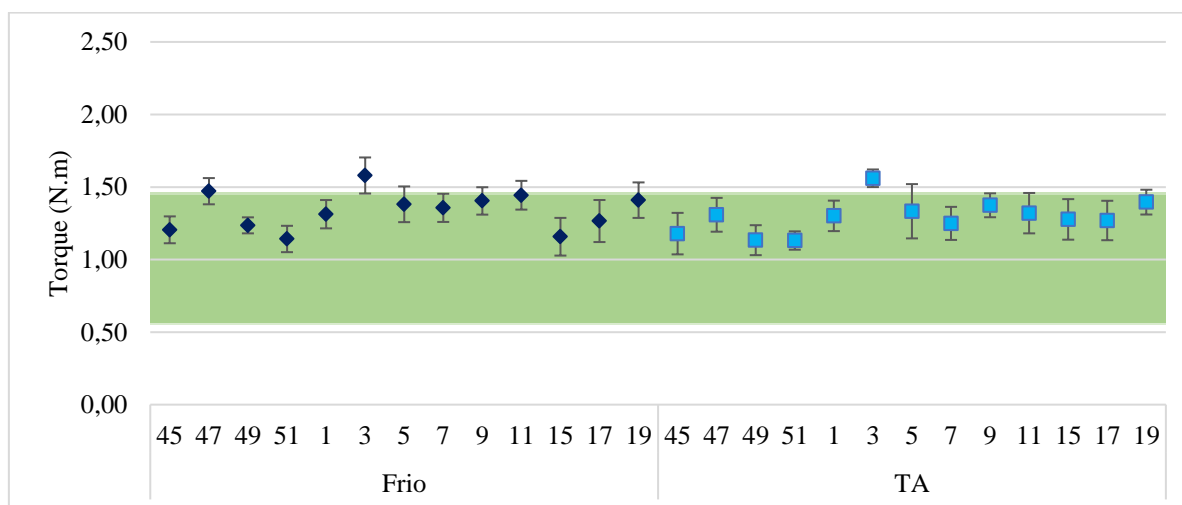


Figura 4.6: Média das medições de torque a frio e à temperatura ambiente, ao longo de 26 semanas.

Analisando o gráfico da figura 4.6 é comprovada uma variação nos valores de torque ao longo do tempo, independentemente da temperatura de armazenamento. Os principais pontos a destacar são:

- Os valores de torque foram sempre superiores ao valor do alvo (1,00 N.m), mas na sua maioria encontravam-se dentro de especificação;
- Ao fim de 10 semanas do enchimento (semana 3 de 2022) os valores de torque começaram a ficar fora de especificação, independentemente da temperatura de armazenamento;
- Os valores médios de torque para amostras frias foram, no geral, superiores aos valores médios de torque para amostras à TA, com a exceção das semanas 15 e 17 de 2022;
- Ao fim de 26 semanas, o valor do torque encontrava-se próximo do LSE tanto para amostras frias como à TA, sendo superior ao valor de torque medido logo após o enchimento.

Uma variação/aumento nos valores do torque ao longo do tempo pode significar que, embora se envie produto dentro de especificação para o mercado, com o tempo os valores de torque poderão aumentar para fora de especificação aquando do momento de consumo.

4.4.4. Ensaio 4 – Torque vs Capsulador

As garrafas de Água das Pedras Regular 0,25 L são cheias na L1 do centro produtivo de PS. De modo a perceber a influência da máquina nesta problemática, capsularam-se garrafas do mesmo lote de vidro com cápsulas do mesmo lote de cápsulas (AR) em dois capsuladores de duas linhas de enchimento diferentes, L1 e L2. Nos gráficos das figuras 4.7 e 4.8 estão representadas as médias das medições realizadas no equipamento da L1 e L2, respetivamente.

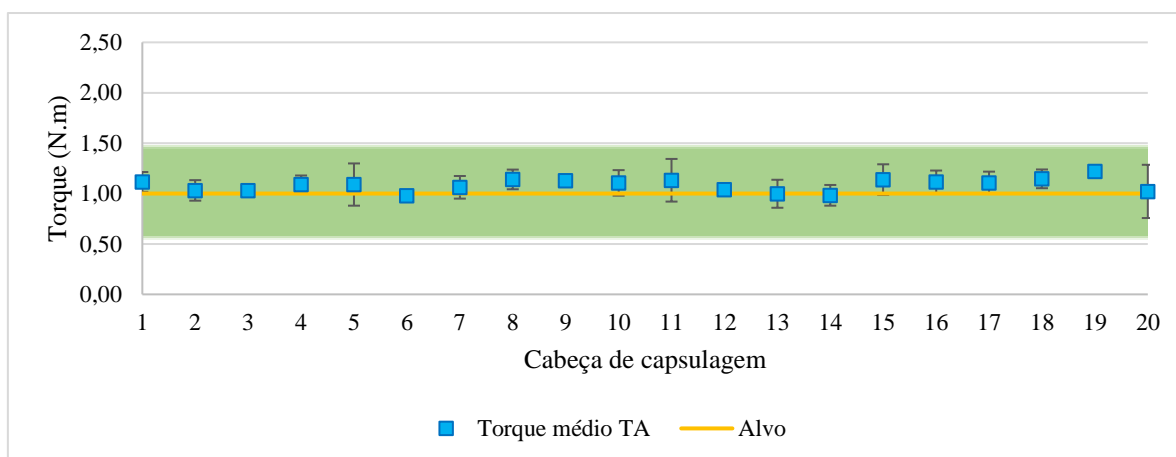


Figura 4.7: Média das medições de torque de amostras capsuladas na L1 do centro produtivo de Pedras Salgadas.

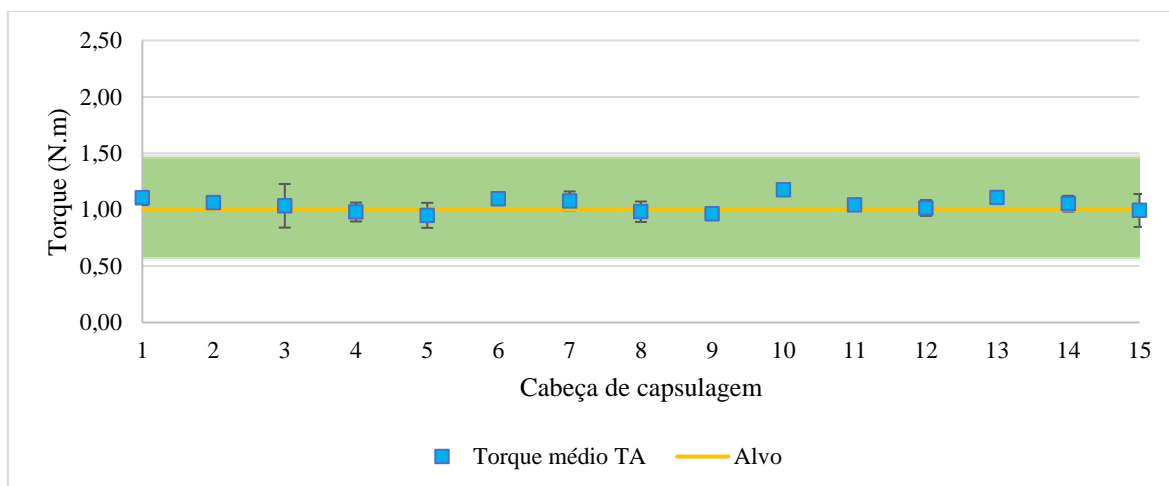


Figura 4.8: Média das medições de torque de amostras capsuladas na L2 do centro produtivo de Pedras Salgadas.

Através da análise das figuras 4.7 e 4.8 é possível verificar que o número de cabeças de capsulagem entre máquinas é diferente, não podendo comparar-se os valores de torque por essa via. O que se conclui de uma observação direta dos gráficos é que os valores foram semelhantes entre si e se encontravam próximos do alvo. O valor médio de torque para as amostras capsuladas na L1 foi 1,08 N.m, enquanto para as amostras capsuladas na L2 foi 1,04 N.m.

Uma vez que o pretendido foi a comparação dos valores obtidos entre máquinas, à semelhança dos ensaios 1 e 2, realizou-se a análise estatística recorrendo a um teste *t* de *student*. No anexo C encontra-se a explicação da forma como foi elaborado este teste, através do qual se concluiu que não existiam diferenças significativas entre os valores de torque obtidos para as amostras capsuladas na L1 e na L2.

Outro aspeto que se avaliou neste ensaio foi a influência do operador que realiza a medição. Para tal, pediu-se a um colaborador do Super Bock Group para realizar metade das medições, tendo sido os valores obtidos entre operadores semelhantes. De modo a despistar este fator comparou-se também os resultados deste ensaio (L1 à TA) com os resultados obtidos no ensaio 1 para TA, uma vez que os fornecedores de cápsula e vidro foram os mesmos. A avaliação através de um teste *t* de *student* permitiu concluir que não existiram diferenças significativas nos valores de torque entre ensaios.

4.4.5. Ensaio 5 – Torque vs Cabeça de capsulagem

O quinto ensaio teve como objetivo o despiste da variável cabeça de capsulagem, verificando se existiam diferenças entre os valores de torque entre cabeças de capsulagem e na mesma cabeça de capsulagem. Na figura 4.9 são apresentados os valores médios de torque obtidos por cabeça e o torque médio do capsulador (1,32 N.m), tendo em conta todas as medições.

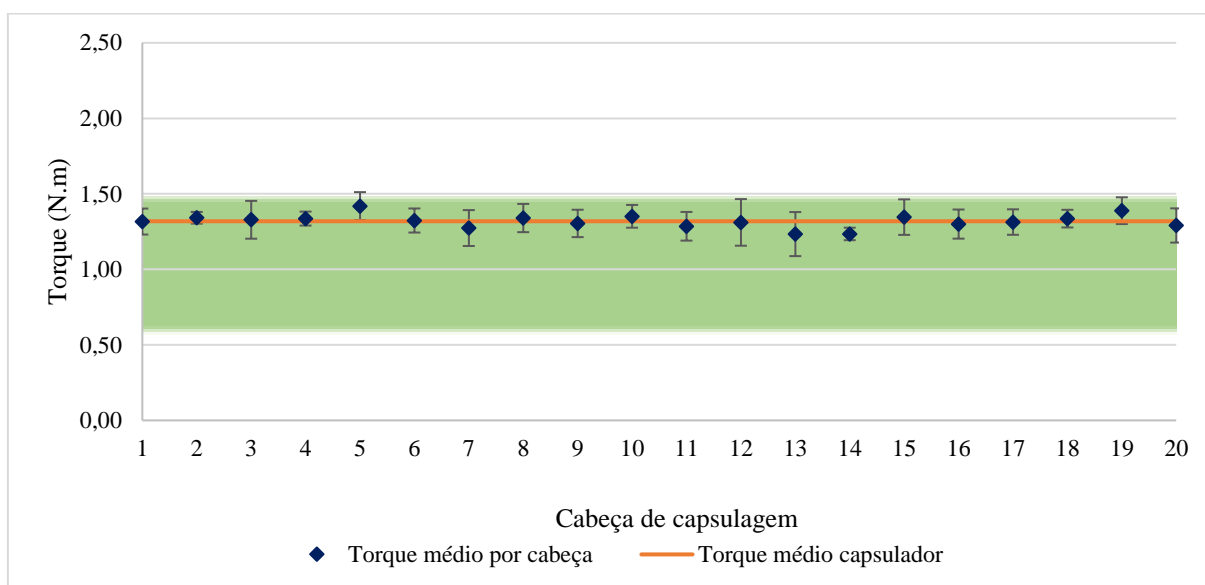


Figura 4.9: Média das medições de torque por cabeça de capsulagem e torque médio do capsulador para amostras capsuladas nas mesmas condições.

Pela observação das barras de erro (representantes do valor médio ± 1 desvio-padrão amostral) presentes para cada ponto do gráfico apresentado na figura 4.9, verifica-se que a variação dos valores de torque obtidos na mesma cabeça de capsulagem foi, no máximo, de 0,2 N.m para a cabeça de capsulagem número 12. As cabeças de capsulagem 13, 3, 15 e 20 foram outras que apresentaram um desvio-padrão mais elevado, por ordem decrescente. No entanto, relativamente ao valor de torque não se considera um desvio relevante.

Relativamente à variação entre cabeças aplicou-se um teste de Welch, uma vez que as variâncias não foram homogêneas. Através desse teste, verificou-se também que não existiam diferenças significativas entre cabeças, ou seja, não existiam problemas relacionados com uma ou mais cabeças de capsulagem, que resultassem em valores de torque incomuns. No anexo C apresenta-se os valores obtidos no teste de Welch e a validação dos pressupostos necessários para a aplicação do mesmo.

4.4.6. Teste de percepção

No subcapítulo 4.2 foi explicado de forma detalhada o procedimento realizado por cada participante do teste de percepção, tendo esse consistido num inquérito seguido de um teste de abertura. No que concerne o inquérito geral prévio, as principais conclusões retiradas foram:

- Preferência de consumo de Água das Pedras Regular maioritariamente a frio;
- Não se verificou tendência clara relativamente à dificuldade de abertura (difícil, médio ou sem dificuldade);
- Não se verificou tendência clara na diferença da força de abertura de garrafas frias ou à temperatura ambiente;
- Dos inquiridos que responderam que sentem diferenças na abertura de garrafas frias e à temperatura ambiente, todos indicaram que a dificuldade era superior para garrafas frias.

O teste foi realizado em dois centros produtivos diferentes (PS e LB), apresentando-se de seguida os resultados obtidos para cada centro:

- Dos 7 inquiridos em LB, 3 classificaram com 1 (sem dificuldade) todas as amostras;
- Em LB, 4 das 35 amostras à temperatura ambiente foram classificadas com 2 (dificuldade média);
- Em LB, 4 das 35 amostras frias foram classificadas com 2;
- Em LB, as razões pelas atribuições de classificação 2 foram “necessário aplicar força” e “cápsula escorregadia”;
- Em LB, 1 das 35 amostras a frio foi classificada com dificuldade 3 (difícil), tendo sido a razão “cápsula muito escorregadia e necessária muita força”;
- Em PS, dos 9 inquiridos 8 classificaram com 1 todas as amostras;

- Em PS, 1 dos inquiridos classificou 1 amostra a frio com 2 e as restantes com 1. As razões da atribuição da classificação 2 foram “foi necessário dar mais uma volta para partir a as pontes, não por dificuldade de torque”;
- Nenhum dos inquiridos classificou alguma amostra com 4 (muito difícil) ou 5 (impossível).

Um resumo gráfico das classificações atribuídas pelos participantes de LB para amostras frias e à TA encontra-se na figura C.8 do anexo C. No geral os resultados foram semelhantes entre centros, não tendo existido variações acentuadas na classificação atribuída. Ainda, embora algumas das classificações tenham sido superiores a frio (maior dificuldade de abertura), não se considerou significativo.

4.4.7. Benchmarking com marcas da concorrência

Por fim, antes de se proceder a quaisquer alterações no capsulador, realizou-se um *benchmarking* com 8 marcas da concorrência (A, B, C, D, E, F, G e H), de modo a perceber qual a posição de PS no mercado de águas gasocarbónicas.

Para tal, levantou-se informação acerca da capacidade da garrafa, fornecedor de cápsula, tipo de cápsula e peso médio da cápsula, encontrando-se os principais resultados listados em seguida:

- Os fornecedores de cápsulas utilizados pelas restantes marcas foram maioritariamente os fornecedores A e B utilizados em PS, com exceção de uma das marcas, que utilizava um fornecedor diferente;
- 6 das 8 cápsulas eram ROPP e 2 eram Talog (figura C.9 do anexo C);
- O peso médio das cápsulas encontrava-se entre 1,20 e 2,00 g, sendo o peso médio das cápsulas ROPP cerca de 1,22 g.

Ainda, procedeu-se à medição dos valores de torque de abertura, apresentando-se na figura 4.10 os resultados obtidos para cada marca, assim como a média geral.

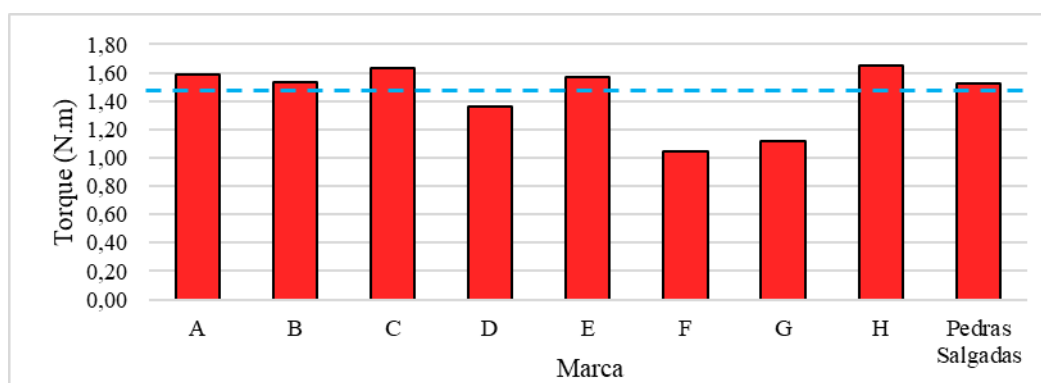


Figura 4.10: Média das medições de torque para cada marca e média geral, contabilizando todos os resultados obtidos.

Observando o gráfico da figura 4.11 é possível verificar que, no geral, o torque médio para todas as marcas foi mais próximo ou superior ao LSE, à exceção das marcas F e G. Para estas, o valor de torque rondou o alvo específico para o Super Bock Group. Realça-se ainda que as garrafas das marcas F e G apresentavam a mesma capacidade de Água das Pedras Regular e foram capsuladas com cápsulas ROPP. Não obstante, concluiu-se a partir deste estudo que PS se encontra numa posição semelhante às restantes marcas do mercado.

4.4.8. Testes preliminares à mudança das molas

Com o intuito de se proceder à mudança das molas para outras com menor força vertical, realizou-se a medição da força lateral de cada rolete e da força vertical de cada mola, segundo o procedimento descrito no subcapítulo 4.3, que foi realizado pela manutenção do centro produtivo de PS. A força vertical de cada rolete deveria estar entre a especificação do fornecedor de 8,0 kgf a 12,0 kgf, enquanto a força das molas deveria estar próxima de 220 kgf. Valores muito inferiores a 220 kgf, significariam um rápido desgaste das molas.

Relativamente à força lateral de cada rolete, a força dos roletes “*thread*” e dos roletes “*tuck*” foi, em média 11,4 kgf e 10,8 kgf, respetivamente, ambos valores dentro de especificação, não se encontrando nenhum valor de medição individual fora de especificação. No que concerne a força vertical, o resultado da medição apresentado na garrafa dinamométrica é expresso em mm, sendo necessário converter para kgf através da escala presente na garrafa (anexo C, figura C.4). Dessa forma, determinou-se que a gama de trabalho se encontrava entre 210 e 230 kgf, condizente com as molas em uso no momento.

Adicionalmente realizaram-se medições do *slip* e do *break torque* após capsulagem e 24 h após capsulagem. A medição após capsulagem foi realizada a seco (garrafas vazias e sem vestígios de humidade na marisa) e a húmido (semelhante às medições realizadas noutros ensaios, ou seja, garrafas com líquido após capsulagem, podendo a marisa conter vestígios de humidade). As medições do *slip* e do *break torque* foram realizadas com o auxílio de um equipamento específico (figura C.10 do anexo C) e seguindo um procedimento específico (descrito no anexo C, após a figura C.10).

Os resultados para as medições de garrafas secas foram, em média, de 1,03 N.m para o *slip torque* e de 1,19 N.m para o *break torque*. Uma vez que a especificação interna de PS diz respeito ao torque máximo, neste caso seria relativo ao *break torque*, e este estaria dentro de especificação. Isto significa que no momento inicial após a capsulagem, é mais difícil partir as pontes do que girar a cápsula.

Relativamente à medição do torque em garrafas molhadas logo após a capsulagem, obtiveram-se valores médios de 1,21 N.m e 1,50 N.m para o *slip* e *break torque*, respetivamente. Observa-se também neste caso que o *break torque* para cápsulas húmidas é superior ao *slip torque*. Percebe-se que ambos os valores de torque são superiores para cápsulas húmidas, devido ao impacto da água no atrito, aumentando-o (informação partilhada pelo fornecedor A).

Cerca de 24 horas depois das medições de torque referidas nos dois últimos parágrafos, realizou-se a medição do torque em garrafas que foram cheias e capsuladas no mesmo momento que as garrafas molhadas. Os valores médios obtidos foram de 1,27 N.m para o *slip torque* e de 1,14 N.m para o *break torque*. Os resultados mostraram que os valores de *break torque* diminuíram, quando comparados com as primeiras medições realizadas, enquanto os valores de *slip torque* aumentaram em relação à última medição, revelando-se além disso superiores aos valores de *break torque*. Assim, 24 horas após o enchimento, identificou-se que seria necessária mais força para girar a cápsula do que na quebra das pontes, conhecimento partilhado também pelo fornecedor A. Este referiu ainda que após 24 horas da capsulagem e ao longo do tempo os valores de *slip torque* são sempre superiores aos do *break torque*.

Após os testes preliminares, percebeu-se que não seria possível a alteração das molas, uma vez que as rececionadas para o propósito não tinham sido corretamente

enviadas pelo fornecedor, não coincidindo com o capsulador presente na linha de enchimento (figura C.11, anexo C).

5. Conclusões e propostas para trabalhos futuros

A presente dissertação teve como principal objetivo a atuação no processo de enchimento de cervejas/sidras e Água das Pedras Regular, de forma a melhorar a experiência de consumo. Durante o período de estágio foram desenvolvidos dois projetos no Centro Produtivo de LB sobre a validação dos programas de inspeção interna, particularmente a “validação do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula da L6” e o “estudo da variabilidade de sinal no inspetor de caixas da L1”. Para além desses, em conjunto com o Centro produtivo de PS, realizou-se um terceiro projeto acerca da análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Águas das Pedras Regular.

Os objetivos do primeiro projeto mencionado focaram-se na validação dos módulos de inspeção de PI, CS e PQ, de todos os programas presentes no inspetor da L6. Para além disso, outros objetivos foram a padronização do que é considerado defeito e a validação do contador de rejeições para cada um dos módulos de inspeção e do contador de rejeições geral. É importante salientar a impossibilidade de padronização dos parâmetros de PQ, visto que cada cápsula apresenta as suas cores e características individuais. Os procedimentos seguidos durante a execução deste projeto foram traduzidos para uma instrução de trabalho, para que mais tarde seja utilizada como método padrão para a preparação de garrafas teste riscadas.

Durante o período de estágio foi possível avaliar 16 em 17 programas, tendo sido criado um programa individual para *Super Bock Negra Sin Alcool* que no começo do estágio era o mesmo que *Super Bock STOUT*. Não se avaliou o programa de *Carlsberg Alumínio* devido a incompatibilidades com o plano de enchimento semanal. Dos programas avaliados, validaram-se em todos, os contadores de rejeição e o módulo de inspeção de PI e CS. No que diz respeito ao PQ, este módulo foi validado para todos os programas avaliados, à exceção de *Cristal 1 L*, tal devido à tonalidade dourada do topo da cápsula apresentar pouco contraste com a cor dos riscos.

No que concerne o tópico da variação de sinal no inspetor de caixas da L1, foi realizado um estudo com a finalidade de se entender qual ou quais as variáveis que contribuíam em maior peso para esta problemática. Com esse propósito, testou-se o módulo de inspeção de caixa completa. Logo após o início da testagem, a empresa provedora dos inspetores noticiou que o problema era devido ao rápido envelhecimento

do cristal presente no recetor de raios-X. Realidade que se traduzia na diminuição acelerada dos valores de sinal.

Conhecedora dos problemas existentes na L1, a BBULL Technology enviou um recetor novo com cristal, permitindo comparar resultados antes e após a alteração da peça. No geral, dos testes realizados, aferiu-se que o sinal para caixa sem garrafa foi sempre superior ao sinal para as restantes condições e que quanto maior a tara da garrafa e/ou o número de garrafas em cada fila, menor o valor de sinal obtido, devido à maior absorção de radiação. Além disso, com a troca do recetor, notou-se um aumento dos valores de sinal para todas as condições e para caixa completa em todos os formatos, tendo sido necessário também o aumento do valor do *set-point*. Porém, tanto antes como após a troca da peça se verificaram variações nos valores de sinal com o tempo, não sendo possível a definição e validação de um valor de *set-point standard* para cada formato.

Foi possível estudar o envelhecimento do equipamento com o tempo, permitindo definir, com base nos valores de sinal para caixa OK, um valor abaixo do qual se considera o equipamento incapaz de detetar com segurança caixa incompleta. Como diferentes filas completas apresentam diferentes valores de sinal entre si e entre caixas diferentes, entendeu-se que o valor da média dos vales para caixa OK mais três desvios-padrão era entre 1,20 e 1,35 vezes superior ao valor médio dos vales para caixa OK. Isto significa que, assumindo-se distribuição normal, 49.87% das ocorrências não deveriam ser superiores a esses valores, considerando-se assim que o *set-point* deveria ser definido para um valor 1,40 vezes superior à média para caixa OK. Foi ainda criada uma instrução de trabalho a ser executada como autocontrolo pelos operadores das linhas de enchimento, em inspetores de caixas que contenham um recetor com cristal.

No projeto relacionado com o estudo das variáveis mais impactantes na abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular, primeiramente realizaram-se ensaios de medição do torque, tendo em consideração os limites de especificação internos, entre 0,57 N.m e 1,50 N.m, sendo o alvo de 1,00 N.m.

No que concerne a temperatura de consumo, percebeu-se que existiam diferenças significativas nos valores de torque à TA e a frio, sendo os últimos superiores aos primeiros. Relativamente aos fornecedores de cápsula, concluiu-se que os valores obtidos para cápsulas AR eram estatisticamente distintos dos valores obtidos para AS e para BR, não apresentando estes últimos, diferenças significativas entre si.

Estatisticamente não se verificaram diferenças significativas entre equipamentos de medição diferentes, obtendo-se valores médios de 1,73 N.m, 1,72 N.m e 1,79 N.m para o T1, T2 e T3, respetivamente, e superiores ao LSE. Com o tempo, o valor do torque variou, independentemente da temperatura, estando os resultados entre o alvo e o LSE, à exceção dos valores 10 semanas após o enchimento, que foram superiores a esse limite.

Das medições de torque de garrafas capsuladas em linhas de enchimento diferentes (L1 e L2), verificaram-se que não existiram diferenças estatisticamente significativas, sendo o valor de torque médio para as garrafas da L1 de 1,08 N.m e da L2 de 1,04 N.m. Ainda sobre capsulador, nomeadamente da L1, não se verificaram diferenças significativas nos valores de torque por cabeça de capsulagem.

Os participantes do teste de perceção realizado com o intuito de testar a abertura de cápsulas ressoadas, não demonstraram dificuldade acentuada na abertura em nenhum dos dois centros produtivos. Ao mesmo tempo, segundo o *benchmarking* com marcas da concorrência, PS posicionou-se de forma semelhante às restantes marcas do mercado.

Por fim, tanto os valores obtidos da medição da força lateral dos roletes, como da força vertical das molas encontravam-se dentro de especificação. Relativamente ao *slip* e ao *break torque*, verificou-se que ambos eram inferiores para garrafas vazias e secas, quando comparado com o torque de garrafas cheias e ressoadas. Também, após enchimento, o torque máximo correspondeu ao *break torque*, enquanto após 24 horas e ao longo do tempo correspondeu ao *slip torque*. Assim, o consumidor terá de exercer mais força de abertura na rotação inicial da cápsula antes da quebra das pontes.

Como propostas para trabalhos futuros sugere-se fechar a validação dos módulos de inspeção e do contador de rejeições dos programas remanescentes na avaliação do inspetor da L6. Para a validação do módulo de inspeção de caixa completa dos inspetores de caixa, aponta-se o acompanhamento dos recetores com díodo da L1, L2 e L5, para verificar se se sentirá impacto na perda de potência de deteção. Por fim, para o projeto de PS, sugere-se a repetição dos ensaios antes e depois da substituição das molas. O pretendido passaria pela avaliação da pressão de retenção, do CO₂ e do torque ao longo do tempo. O critério de sucesso seria a diminuição do torque para valores próximos do alvo, garantindo a estanquicidade (sem causar impacto na pressão de retenção e no CO₂).

Bibliografia

- [1] Super Bock Group, “História,” [Online]. Available: <https://www.superbockgroup.com/historia/>. [Acedido em 7 janeiro 2022].
- [2] Super Bock Group, “Onde estamos,” [Online]. Available: <https://www.superbockgroup.com/onde-estamos/>. [Acedido em 7 janeiro 2022].
- [3] Super Bock Group, “Todas as marcas,” [Online]. Available: <https://www.superbockgroup.com/todas-as-marcas/>. [Acedido em 7 janeiro 2022].
- [4] Super Bock Group, “Inovação,” [Online]. Available: <https://www.superbockgroup.com/detalhe/inovacao/>. [Acedido em 7 janeiro 2022].
- [5] C. M. Pereira, Cerveja: história e cultura, São Paulo: Senac, 2021.
- [6] Teixeira, Samira Patrícia dos Reis Borges, “Compostos responsáveis pelo "off-flavour" da cerveja: caracterização e impacto sensorial,” Tese de Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2016.
- [7] Barbosa, Leticia Melo, “A produção de cerveja ao longo da história,” Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de Técnica em Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2018.
- [8] Cervejeiros de Portugal, “História,” [Online]. Available: <https://www.cervejeirosdeportugal.pt/historia/>. [Acedido em 8 janeiro 2022].
- [9] Super Bock Group, “Sobre as cervejas,” [Online]. Available: <https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-as-cervejas/>. [Acedido em 7 janeiro 2022].
- [10] Cervejeiros de Portugal, “Estilos de cerveja,” [Online]. Available: <https://www.cervejeirosdeportugal.pt/variedades/>. [Acedido em 7 janeiro 2022].

- [11] NutriAgro, “Características da cerveja,” [Online]. Available: <https://nutriagro.weebly.com/caracteriacutesticas-da-cerveja.html>. [Acedido em 8 janeiro 2022].
- [12] gratispng, “Lager, Super Bock, Cerveja PNG,” [Online]. Available: <https://www.gratispng.com/png-1fikw7/>. [Acedido em 11 janeiro 2022].
- [13] Pinto, Ilídia, “Coruja é a nova cerveja da Super Bock,” dinheiro vivo, 28 fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/coruja-e-a-nova-cerveja-da-super-bock-12813504.html>. [Acedido em 11 janeiro 2022].
- [14] Super Bock Group, “Dry hopping: o que é e o que faz pela cerveja,” [Online]. Available: <https://www.superbockcasadacerveja.pt/detalhe-de-artigo/dry-hopping/>. [Acedido em 11 janeiro 2022].
- [15] Super Bock Group, “Coruja - Do dia para a noite elas aparecem,” [Online]. Available: <https://www.superbockcoruja.pt/>. [Acedido em 11 janeiro 2022].
- [16] Carlsberg, “Em Busca da Melhor Cerveja,” [Online]. Available: <https://www.carlsberg.com/pt-pt/>. [Acedido em 11 janeiro 2022].
- [17] Junior, Amaro A. D.; Vieira, Antonia G.; Ferreira, Taciano P., “Processo de Produção de Cerveja,” Revista Processos Químicos, Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, Anápolis, Goiás, 2009.
- [18] Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, “Brasil se prepara para expandir cultivo de lúpulo,” 22 março 2021. [Online]. Available: <https://iica.int/pt/prensa/noticias/brasil-se-prepara-para-expandir-cultivo-de-lupulo>. [Acedido em 10 janeiro 2022].
- [19] Teixeira, Cláudia Isabel Ferreira, “Acompanhamento dos dados do processo de fabricação da cerveja, de forma a otimizar as diferentes fases do processo com especial incidência na taxa de isomerização do lúpulo e taxa de evaporação do mosto,” Relatório de Estágio, Unicer-Bebidas de Portugal, S.A., 2002.
- [20] Kuzmicheva, Tatiana, “Processo de fabricação de cerveja, produção da fábrica da cervejaria,” dreamstime, [Online]. Available: <https://pt.dreamstime.com/processo->

da-fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-cerveja-produ%C3%A7%C3%A3o-f%C3%A1brica-cervejaria-image113553679. [Acedido em 10 janeiro 2022].

- [21] Klimovitz, Ray; Ockert, Karl, BEER Packaging, 2ª Edição: AACC International, 2014.
- [22] Silva, Ana Rita Fernandes, “Análise de Causas de Quebra de Garrafas de Vidro e Otimização da Estabilidade de Paletização,” Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Tecnologia e Ciência Alimentar, Universidade do Minho, 2016.
- [23] Kunze, Wolfgang, Technology Brewing and Malting, 6th English Edition: VLB Berlin, Germany, 2019.
- [24] Araújo, Rita Marques Pinheiro, “Otimização de métodos de controlo de qualidade de embalagens,” Dissertação para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia, Universidade de Aveiro, Departamento de Química, 2019.
- [25] Cetie, “Bottling Guide: 26 mm Crown Capping,” Guide nº 4, Paris, France, 2020.
- [26] fatal, “Carica Ø 26 Com Junta PVC,” [Online]. Available: <https://fatal.pt/store/pt/caricas/205-carica-o-26-com-junta-pvc.html>. [Acedido em 18 fevereiro 2022].
- [27] AROL closure systems, “A sua cápsula,” [Online]. Available: <http://www.arol.com/pt/index.php/produtos/a-sua-c%C3%A1psula>. [Acedido em 18 fevereiro 2022].
- [28] Cetie, “Bottling Guide: Metallic Screw Capping of Pressurised Wines & Other Beverages on BVS Type Glass Finishes - With Redraw,” Guide nº 9, Paris, France, 2020.
- [29] IndiaMART, “Aluminium Seal Cap ROPP Cap, Packaging Type: Box,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/ropp-cap-18683540630.html>. [Acedido em 18 fevereiro 2022].

- [30] Brown, Curtis, “A study to determine the optimum closure torque specification for a variable speed packaging line,” Thesis in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Rochester Institute of Technology, 1994.
- [31] Pereira, F. S. G., “Controlo de Qualidade numa abordagem analítica, química e produtiva industrial,” Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2015.
- [32] Lima, Catarina Pinto, “Identificação das causas de oxidação da cerveja e métodos de mitigação,” Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Bioquímica, ramo Alimentar, Departamento de Química da Universidade de Aveiro, 2020.
- [33] CENTRAL BREW, “Oxidação da cerveja: o que é, como e por que acontece?,” [Online]. Available: <https://centralbrew.com.br/blog/oxidacao-da-cerveja-o-que-e-como-e-por-que-acontece/>. [Acedido em 14 janeiro 2022].
- [34] CENTRAL BREW, “Carbonatação da cerveja: entenda melhor sobre esse assunto,” [Online]. Available: <https://centralbrew.com.br/blog/carbonatacao-da-cerveja-entenda-melhor-sobre-esse-assunto/>. [Acedido em 14 janeiro 2022].
- [35] ENFITEC júnior, “CO₂: Um gás tão importante para a cerveja,” [Online]. Available: <https://www.ufrgs.br/enfitecjunior/blog/co2-um-gas-tao-importante-para-a-cerveja/>. [Acedido em 14 janeiro 2022].
- [36] Super Bock Casa da Cerveja, “Espuma de cerveja: por que é tão importante?,” [Online]. Available: <https://www.superbockcasadacerveja.pt/detalhe-de-artigo/espuma-de-cerveja-por-que-e-tao-importante/>. [Acedido em 14 janeiro 2022].
- [37] Super Bock Group, “Sobre as Águas,” [Online]. Available: <https://www.superbockgroup.com/detalhe/sobre-as-aguas/>. [Acedido em 15 janeiro 2022].
- [38] Nutricionista Dr. Pedro Graça, “Águas minerais naturais gasocarbónicas,” [Online]. Available: <https://lifestyle.sapo.pt/saude/peso-e-nutricao/artigos/aguas-minerais-naturais-gasocarbonicas>. [Acedido em 15 janeiro 2022].

- [39] Associação Portuguesa dos Industriais de Águas Minerais Naturais e de Nascente, “Águas Minerais Naturais e Águas de Nascente,” Livro Branco, 2015.
- [40] Martinho, Maria, “Pedras Salgadas: a história de uma água rara no mundo que foi descoberta em Portugal há 150 anos,” 13 novembro 2021. [Online]. Available: <https://observador.pt/especiais/pedras-salgadas-a-historia-de-uma-agua-rara-no-mundo-que-foi-descoberta-em-portugal-ha-150-anos/>. [Acedido em 15 janeiro 2022].
- [41] Água das Pedras, “Pedras A Viagem,” [Online]. Available: <https://www.aguadaspedras.com/a-viagem/>. [Acedido em 18 janeiro 2022].
- [42] Micro Supplies, “Maant D1 Intelligent Grinding Pen,” [Online]. Available: <https://microsupplies.net/>. [Acedido em 29 junho 2022].
- [43] PRO EDUCACIONAL, “Distribuição de Probabilidades - Distribuição Normal,” [Online]. Available: <https://proeducacional.com/ead/curso-cga-modulo-i/capitulos/capitulo-4/aulas/distribuicao-de-probabilidades-distribuicao-normal/>. [Acedido em 28 junho 2022].
- [44] Mecmesin, “Vortex-dV, Digital Motorised Torque Testing System with VectorPro Lite data acquisition software,” [Online]. Available: <https://www.mecmesin.com/sites/default/files/brochures/2019/431-472-02%20Vortex-dV%20and%20VectorPro%20Lite.pdf>. [Acedido em 28 junho 2022].
- [45] Packaging1, “Talog - Premium Aluminium Cap,” [Online]. Available: <https://www.packaging1.com/packaging/talog-premium-aluminium-cap>. [Acedido em 28 junho 2022].
- [46] MECH METROLOGY, “Mecmesin Tornado 10 Digital Torque Tester 0-10 N.m 876-101,” [Online]. Available: <https://mechmetrology.co.uk/webshop/torque-testers/mecmesin-tornado-10-digital-torque-tester-0-10n-m-876-101/>. [Acedido em 28 junho 2022].

Anexos

Anexo A: Validação dos programas de inspeção de pressão interna e de cápsula

Na tabela A.1 encontram-se descritos todos os programas existentes no inspetor de pressão interna e imagem de cápsula estudado, num total de 17 programas. O programa de *Super Bock IDR* é utilizado para mais do que uma tara de *Super Bock Original* (0,25 L, 0,33 L e 0,66 L) e também para *Super Bock Alumínio* e *Super Bock sem Álcool*.

Tabela A.1: Programas de inspeção do inspetor de pressão interna e imagem de cápsula da linha 6.

Programa
<i>Super Bock Pull-Off IDR</i>
<i>Super Bock STOUT Pull-Off 0,25 L</i>
<i>Super Bock Green Pull-Off 0,33 L</i>
<i>Super Bock IDR</i>
<i>Super Bock 1 L</i>
<i>Super Bock STOUT 0,33 L</i>
<i>Super Bock Negra Sin Alcool 0,33 L</i>
<i>Super Bock 0,0% 0,33 L</i>
<i>Super Bock Abadia 0,33 L</i>
<i>Super Bock s/ Glúten 0,33 L</i>
<i>Cristal 0,33 L</i>
<i>Cristal 1 L</i>
<i>Carlsberg 0,25 L</i>
<i>Carlsberg 0,0% 0,25 L</i>
<i>Carlsberg Alumínio 0,33 L</i>
<i>Cheers 0,33 L</i>
<i>Coruja 0,33 L</i>

Note-se também que no começo do estágio curricular efetuado existiam apenas 16 programas, dado que o programa para *Super Bock STOUT 0,33* e *Super Bock Negra Sin Alcool* era o mesmo. Para cada ensaio, foi preenchido o quadro representado na tabela A.2.

Tabela A.2: Ficha de resultados preenchida para cada ensaio.

Garrafa teste	Resultados esperados				Resultados obtidos			
	Aprovou/Rejeitou	PI	CS	PQ	Aprovou/Rejeitou	PI	CS	PQ
1	Aprovou	OK	OK	OK				
2	Rejeitou	NOK	OK	OK				
3	Rejeitou	NOK	NOK	-				
4	Rejeitou	NOK	OK	NOK				
5	Rejeitou	OK	NOK	-				
6	Rejeitou	OK	OK	NOK				

Na avaliação do módulo de inspeção de qualidade de impressão do inspetor de pressão interna e cápsula da L6, foram definidos 3 danos *standard* que devem ser rejeitados pelo mesmo. Na figura A.1 estão representados exemplos dos danos mencionados.



Figura A.1: Danos de cápsula definidos que o inspetor de pressão interna e imagem de cápsula deve rejeitar.

Para padronizar ao máximo a realização dos riscos nas cápsulas, decidiu usar-se uma ferramenta apropriada e não apenas um objeto afiado. Na figura A.2 observa-se uma imagem da ferramenta utilizada, mais concretamente de uma ferramenta rotativa portátil da marca MaAnt D1. Ainda, nessa figura se distingue qual a ponta usada para a produção dos riscos.



Figura A.2: Ferramenta rotativa portátil MaAnt D1 e brocas [42].

De modo a compreender o funcionamento do módulo de inspeção de CS para cápsula *Cristal* ROPP, apresenta-se na figura A.3, a forma de avaliação efetuada pelo inspetor para este tipo de cápsula.

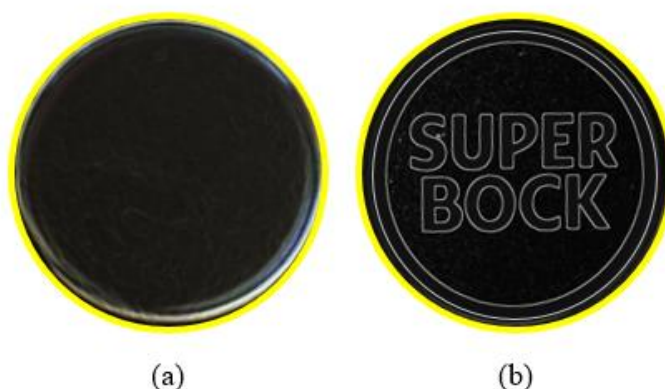


Figura A.3: Comparação da inspeção de CS e PQ para o programa de *Cristal 1 L* ROPP. Esquema da cápsula de *Cristal* ROPP (a) e da cápsula de *SB Original* ROPP (b).

Na fase de “*teach-in*” do módulo de inspeção de CS para o programa de *Cristal 1 L*, como a cápsula é ROPP sem decoração, o único padrão detetado é a circunferência correspondente ao contorno da cápsula, identificada a amarelo na figura A.3-a. Passando uma garrafa com cápsula *SB Original* ROPP (figura A.3-b) para avaliar CS, o inspetor apenas procura pelo padrão a amarelo. Após este ser detetado, a cápsula é aprovada por CS e depois é avaliada por PQ. Nessa avaliação o inspetor deteta os padrões definidos a branco e assume-os como erro, sendo a cápsula rejeitada por PQ. O contrário, isto é, a passagem de cápsulas *Cristal* ROPP pelo programa de *SB Original 1 L*, resulta na rejeição da cápsula por CS, uma vez que os padrões não são detetados.

Na figura A.4 apresenta-se uma imagem da cápsula de SB *STOUT* (a) e de SB *Negra Sin Alcool* (b).



Figura A.4: Cápsula de SB *STOUT* (a) e cápsula de SB *Negra Sin Alcool* (b).

Como é possível verificar pela imagem da figura A.4, embora as artes finais das cápsulas sejam iguais, as cores são visivelmente diferentes. Considerou-se fundamental a separação deste programa, de um ponto de vista de qualidade, já que a cápsula é considerada como um dos pontos de identificação do produto. A escolha de criação de um novo programa para SB *Negra Sin Alcool* e não para SB *STOUT* teve em conta o facto de o programa inicial ter sido primeiro validado para SB *STOUT*.

A fotografia tirada pelo inspetor aquando da avaliação de imagem das cápsulas de SB Original e SB s/ Álcool são representadas na figura A.5. A arte final é igual entre elas, no entanto diferem na cor do *lettering*. Em termos de imagem, a cápsula de SB Alumínio é igual à de SB s/ Álcool, no entanto, a cápsula de SB Alumínio é de inox e as cápsulas de SB Original e de SB s/ Álcool são de *Tin Free Steel* (TFS).

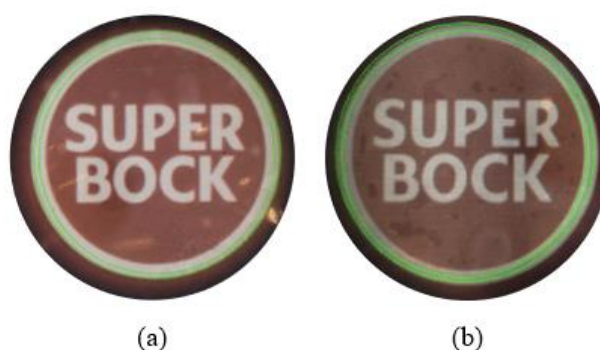


Figura A.5: Cápsula de SB Original IDR (a) e cápsula de SB s/ Álcool (b).

Pode perceber-se pela figura A.5 que a diferença de cor entre as cápsulas de SB Original e de SB s/ Álcool não é perceptível pelo inspetor.

O diâmetro que define a área de avaliação é um aspeto fundamental na avaliação da imagem da cápsula. Como referido na secção 3.4.1, o diâmetro definido inicialmente para SB 0,0% não era satisfatório, uma vez que não permitia a inspeção de todo o *lettering* da cápsula. Assim, considerou-se necessária a intervenção da manutenção do Super Bock Group para um aumento desse diâmetro. Na figura A.6 representa-se uma imagem tirada pelo inspetor do diâmetro inicial e do final.

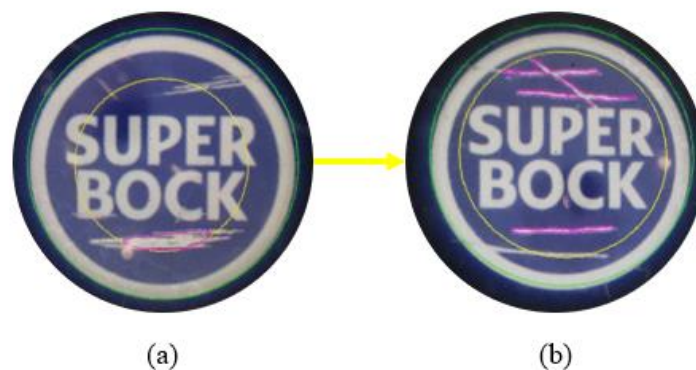


Figura A.6: Diâmetro inicial (a) e diâmetro final (b) para o programa de SB 0,0%.

O diâmetro de avaliação é representado por uma circunferência, aparecendo esta por vezes a amarelo ou a verde. Note-se que as cápsulas da figura A.6 utilizadas para retratar o aumento do diâmetro não são as mesmas.

Na figura A.7 são apresentadas imagens de cápsulas riscadas para a avaliação do programa de SB IDR. Nenhuma das cápsulas apresentadas foi rejeitada pelo inspetor, podendo confirmar-se que seria necessário um ajuste no PQ para validar o programa.



Figura A.7: Imagens de cápsula de SB Original 0,25 L (a), cápsula de SB Original 0,33 L (b), cápsula de SB Original 0,66 L (c) e cápsula de SB Alumínio (d) que não foram rejeitadas pelo inspetor.

Na figura A.8 apresentam-se duas fotografias das cápsulas teste para os danos/defeitos de cápsulas. A cápsula “a” contém 5 riscos com 0,2 mm de espessura e 8

mm de comprimento e não foi rejeitada pelo inspetor, enquanto a cápsula “b” apresenta 5 riscos com 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento e foi rejeitada pelo inspetor.

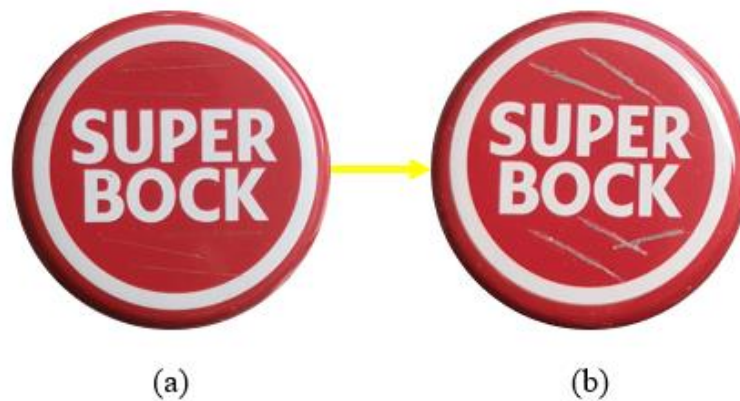


Figura A.8: Exemplo da proposta inicial para danos de cápsula com 5 riscos com 0,2 mm de espessura e 8 mm de comprimento (a) e com 5 riscos com 0,4 mm de espessura e 8 mm de comprimento (b).

Nas cápsulas com o tipo de danos representada na figura A.8, nem sempre todos os riscos são detetados. Dois exemplos deste caso estão presentes na figura A.9.

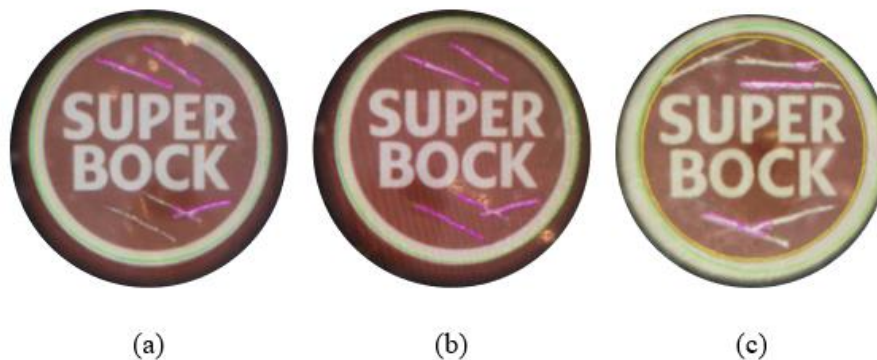


Figura A.9: Imagens de cápsula de SB Original 0,66 L onde apenas 3 dos 5 riscos foram detetados na íntegra (a) e onde foram todos detetados (b) e imagem de cápsula de SB Original ROPP, na qual apenas parte de 4 em 5 riscos foram detetados (c).

O local do dano sobre a decoração nas cápsulas SB é importante pois para que o inspetor consiga detetá-lo com sucesso é necessário que haja espaço para contraste. Assim, propôs-se que o mesmo fosse feito sobre a palavra “BOCK” e que passasse pelo espaço vazio da letra “O” e entre as letras “C” e “K”, como exemplificado na figura A.10.

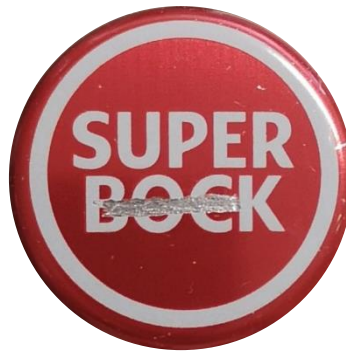


Figura A.10: Cápsula danificada na decoração com risco com 1,3 mm de espessura e 1 cm de comprimento sobre a palavra “BOCK”.

Na figura A.11 do presente anexo encontram-se os resultados obtidos na avaliação do módulo de inspeção de PQ no programa de *Cristal* 0,33 L, antes de qualquer ajuste.

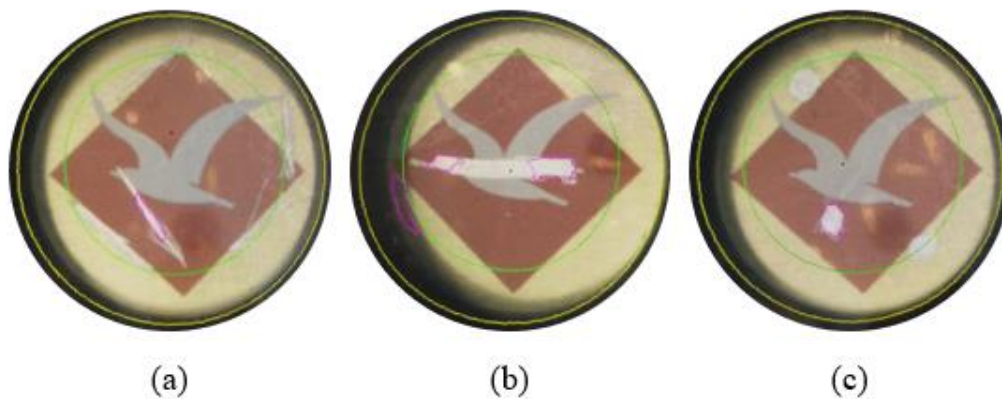


Figura A.11: Imagens das cápsulas de *Cristal* 0,33 L, com as zonas que foram identificadas pelo inspetor como NOK antes de ajuste ao PQ.

Neste teste, foi possível verificar que, embora todas as cápsulas tenham sido rejeitadas em todas as 10 passagens pelo inspetor, este apenas detetou defeitos na zona vermelha da decoração. Note-se que na figura A.11-c, a mesma apresenta 3 desgastes, 1 deles na zona decorada, realizado para testar a capacidade de deteção pelo contraste. Na figura A.11-b o risco não foi detetado sobre o pássaro branco devido à carência de contraste. Ainda, nessa figura uma sombra foi detetada como dano, circunstância que pode acontecer devido à forma como a cápsula está orientada aquando da passagem pelo inspetor ou devido à necessidade de limpeza da câmara do inspetor.

Pelos motivos descritos, ponderou-se a possibilidade de ajuste a este módulo de inspeção, se se verificasse que esse não levaria a falsas rejeições, devido à carência de contraste entre a cor do risco e a tonalidade dourada do topo da cápsula.

De modo a incluir o maior número de ocorrências acima do valor médio de sinal dos vales para caixa OK, assumiu-se que os valores obtidos seguiam uma distribuição normal e, assim sendo, se se contabilizasse o valor médio ± 3 desvios-padrão, incluir-se-iam 99,74% das ocorrências, como exemplificado na figura B.2.

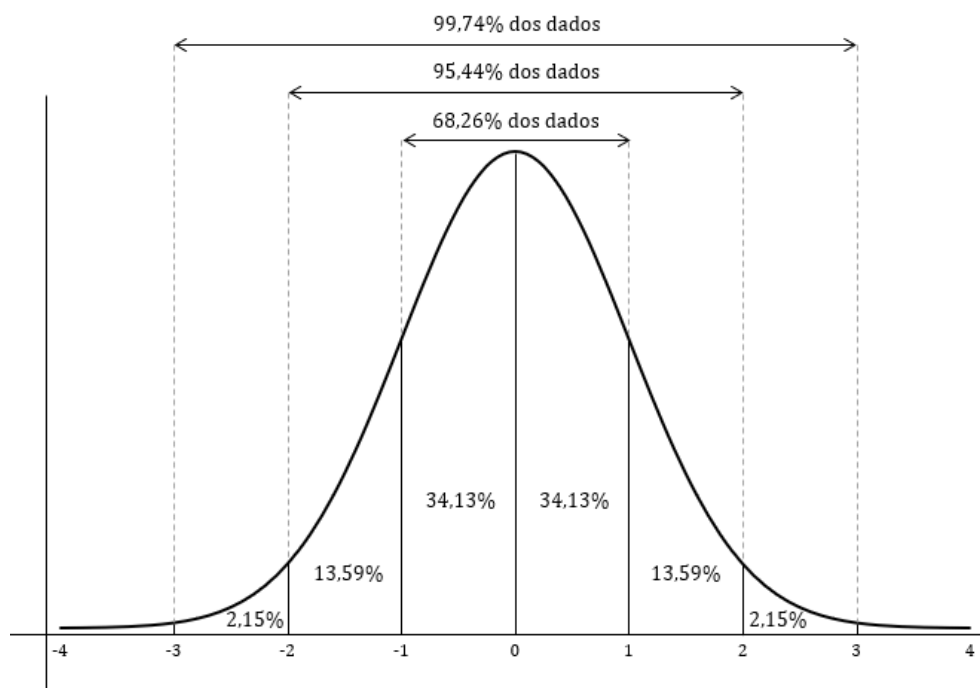


Figura B.2: Distribuição normal com média igual a zero (0) e desvio-padrão igual a um (1) [43].

Como esperado e uma vez que os valores de sinal para caixa OK foram sempre inferiores aos valores para caixa NOK, nos gráficos de resultados dos testes, representou-se apenas a sombreado verde a zona correspondente à média + 3 desvios-padrão, abrangendo-se assim 49,87% das ocorrências.

Na figura B.3 encontra-se um gráfico com os resultados obtidos para um teste ao formato 0,20x24 realizado 4 dias após o primeiro ensaio (figura 3.10-b do subcapítulo 3.4.2).

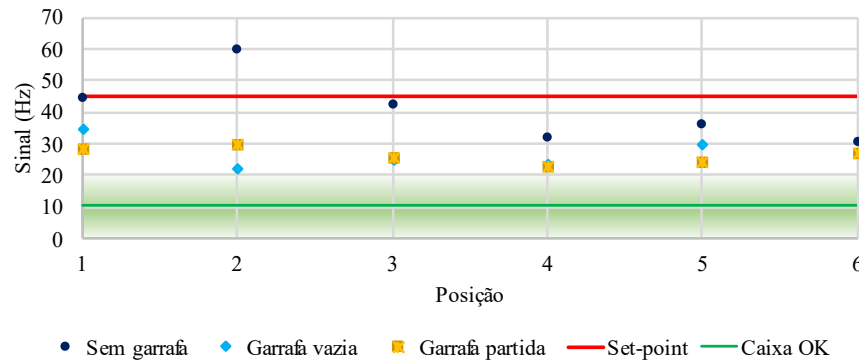


Figura B.3: Teste realizado para caixa de 0,20x24 antes da troca do recetor.

Através da análise da figura B.3 e comparando com a figura 3.10-b, verifica-se que em apenas 4 dias, os valores de sinal diminuíram. No entanto, o valor do *set-point* foi alterado e aumentado neste período para um valor considerado inadequado. Neste caso, como os valores de sinal são muito baixos e não há amplitude suficiente entre sinais para caixa OK e para caixa NOK, não se considerou possível a definição de um *set-point* adequado, sem que haja a possibilidade de algumas caixas NOK (garrafa vazia ou “partida”) não serem rejeitadas.

Para comparar os resultados obtidos para caixa com o mesmo número de garrafas, mas com garrafas de capacidade diferente, apresenta-se na figura B.4 um gráfico com os resultados obtidos para caixa 0,20x24 antes da troca do recetor, para que se pudesse comparar com o gráfico representado na figura 3.10-b.

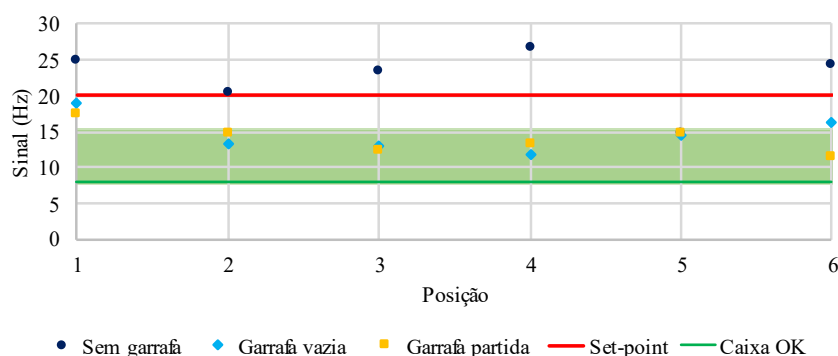


Figura B.4: Teste realizado para caixa de 0,33x24 antes da troca do recetor.

Percebe-se pela análise das duas figuras mencionadas no anterior parágrafo que a tara da garrafa tem influência nos valores de sinal. Isto acontece devido à altura do raio-X. Como mencionado no subcapítulo 3.1.2, a altura do raio-X é projetada para que a

radiação incida no pescoço da garrafa, como exemplificado na figura B.5 do presente anexo.



Figura B.5: Local de incidência do raio-X em garrafa SB 0,25 L e SB 0,33 L.

Incidindo na mesma zona da garrafa, como o pescoço das garrafas de tara superior são mais largos, mesmo contendo o mesmo número de garrafas por fila que uma caixa de 0,25x24, a caixa de 0,33x24 terá de ser mais comprida. Assim, existe mais absorção da radiação e o sinal resultante é inferior.

Anexo C: Análise das variáveis inerentes à abertura de cápsulas ROPP em Água das Pedras Regular

De modo a perceber a experiência de consumo, realizou-se um ensaio de perceção, no qual os participantes responderam previamente ao inquérito que se encontra exposto neste anexo. O inquérito teve como principal objetivo perceber as preferências de consumo dos inquiridos e se alguma vez experienciaram dificuldade de abertura deste tipo de garrafa.

Inquérito prévio

Data: _____

Gênero: Masculino____ Feminino____

Idade: 20 a 40____ 40 a 60____ + de 60____

Questões prévias:

6. É consumidor de Água das Pedras regular?

Sim____ Não____

7. Como preferencialmente consome Água das Pedras?

Frio____ Temperatura ambiente____

8. Como classifica a forma de abertura das garrafas?

Difícil____ Médio____ Sem dificuldade____

9. Se consome a frio e à temperatura ambiente, nota alguma diferença na forma de abertura das garrafas?

Sim____ Não____

10. Se sim, qual é mais difícil de abrir?

Frio____ Temperatura ambiente____

Após o inquérito, os participantes classificaram a dificuldade de abertura das garrafas de 1 a 5 (segundo a legenda indicada no subcapítulo 4.2) ao preencherem um quadro como o representado na tabela C.1.

Tabela C.1: Quadro preenchido aquando da realização do ensaio de perceção.

Comparação	Amostra refrigerada		Amostra à temperatura ambiente	
	Dificuldade de abertura	Motivo da dificuldade	Dificuldade de abertura	Motivo da dificuldade
1				
2				
3				
4				
5				

De modo a compreender mais facilmente o procedimento de medição do torque descrito no subcapítulo 4.3 num torquímetro Mecmesin Vortex-dV (figura C.1), nas figuras C.2 e C.3 apresentam-se esquematizados o sistema de controlo do torquímetro e a unidade de medição do torque, respetivamente.



Figura C.1: Torquímetro Mecmesin Vortex-dV [44].

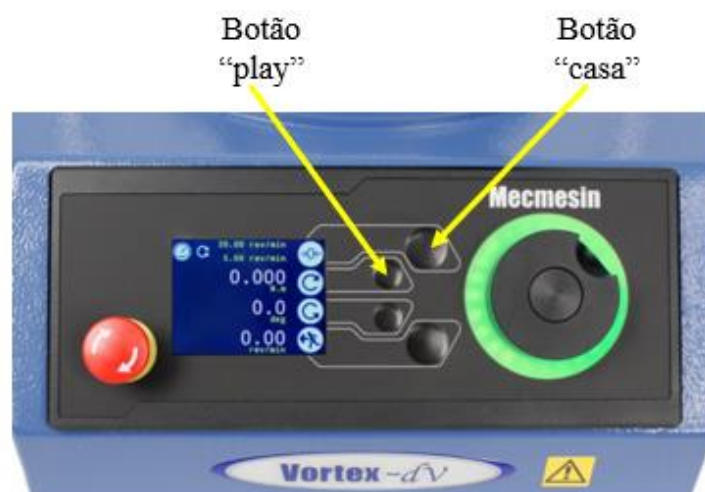


Figura C.2: Esquema representativo da localização dos botões “casa” e “play” no sistema de controlo do torquímetro considerado [44].



Figura C.3: Esquema representativo da localização do botão “zero” na unidade de medição de torque [44].

Antes da alteração das molas para diminuir a força vertical exercida sobre a cápsula, mediu-se, para cada cabeça de capsulagem, a força vertical de cada mola com o

auxílio de uma garrafa dinamométrica como a representada na figura C.4. Para além disso, também se mediu a força lateral de cada rolete, como exemplificado na figura C.5.



Figura C.4: Garrafa dinamométrica capsulada.



Figura C.5: Modo de medição da força vertical.

Com o intuito de perceber se existiram diferenças significativas entre os resultados das medições de torque para garrafas armazenadas à TA ou no frio realizou-se um teste *t* de *student*, que será apresentado de seguida. Primeiramente foi necessário garantir uma série de pressupostos, nomeadamente se os resultados foram independentes, se seguem

distribuição normal, se apresentam *outliers* (valores atípicos) e se as variâncias são homogéneas. Note-se que esta análise não tem em conta os valores por cabeça de capsulagem, mas apenas por temperatura de armazenamento.

Relativamente à independência dos resultados, pode dizer-se que estes foram independentes, uma vez que resultaram da medição de torque em amostras diferentes e em diferentes condições. Para saber se os resultados seguiam distribuição normal e se existia algum *outlier* utilizou-se a ferramenta “*Descriptive Statistics and Normality*”. Pela análise do gráfico de bigodes fornecido pela ferramenta mencionada, identificou-se a não existência de *outliers*. Também, analisando o teste de Shapiro-Wilk se afere a normalidade dos resultados. Na figura C.6 encontra-se o gráfico de bigodes obtido, bem como os resultados do teste de Shapiro-Wilk.

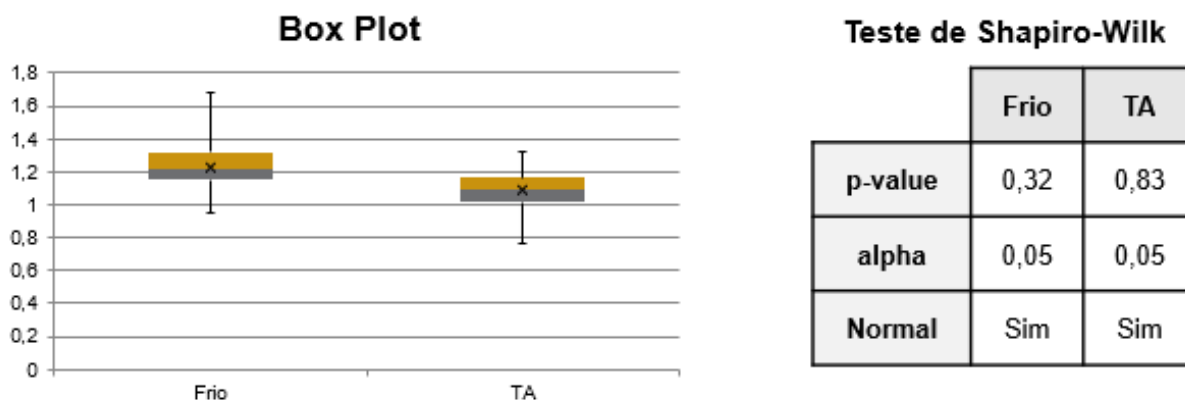


Figura C.6: Gráfico de bigodes e teste de Shapiro-Wilk para a deteção de outliers e a verificação da normalidade dos resultados obtidos no ensaio 1.

Os testes foram realizados com uma confiança de 95%, daí o valor de alfa ser 0,05. A hipótese nula (H_0) foi “distribuição normal” (se *p-value* superior a alfa) e a hipótese alternativa (H_1) foi “outra distribuição” (se *p-value* inferior a 0,05). Assim, em ambas condições se verificou a normalidade dos resultados ($0,32 > 0,05$ e $0,83 > 0,05$). Se se tivessem detetado *outliers*, o procedimento a seguir seria eliminá-los e voltar a repetir a análise dos mesmos com a ferramenta “*Descriptive Statistics and Normality*”.

Por fim, de forma a avaliar a homogeneidade das variâncias, realizou-se o teste de Levene, na qual H_0 foi “variâncias homogéneas” e H_1 foi “variâncias não homogéneas”. Neste teste o *p-value* foi de 0,16, sendo superior a 0,05, tendo-se aceiteada a hipótese H_0 . Torna-se importante referir que, de modo a realizar todas as análises estatísticas, foi

necessário primeiramente realizar a validação do pressupostos apresentados, sendo o método seguido sempre o descrito neste anexo.

Após se verificarem todos os pressupostos, realizou-se o teste *t* de *student*, no qual se utilizou como H0 “média a frio = média à TA” e como H1 “média a frio ≠ média à TA”. Com este teste, obteve-se um *p-value* de $5,1 \times 10^{-7}$, rejeitando-se H0 e aceitando-se H1, concluindo-se que existiam efetivamente diferenças para os resultados de torque obtidos nas diferentes condições de armazenamento.

Na figura C.7 encontram-se os valores necessários para aplicar a análise estatística dos resultados obtidos no segundo teste do primeiro ensaio (torque vs temperatura de armazenamento). Na análise da homogeneidade das variâncias, verificaram-se que todas foram homogêneas.

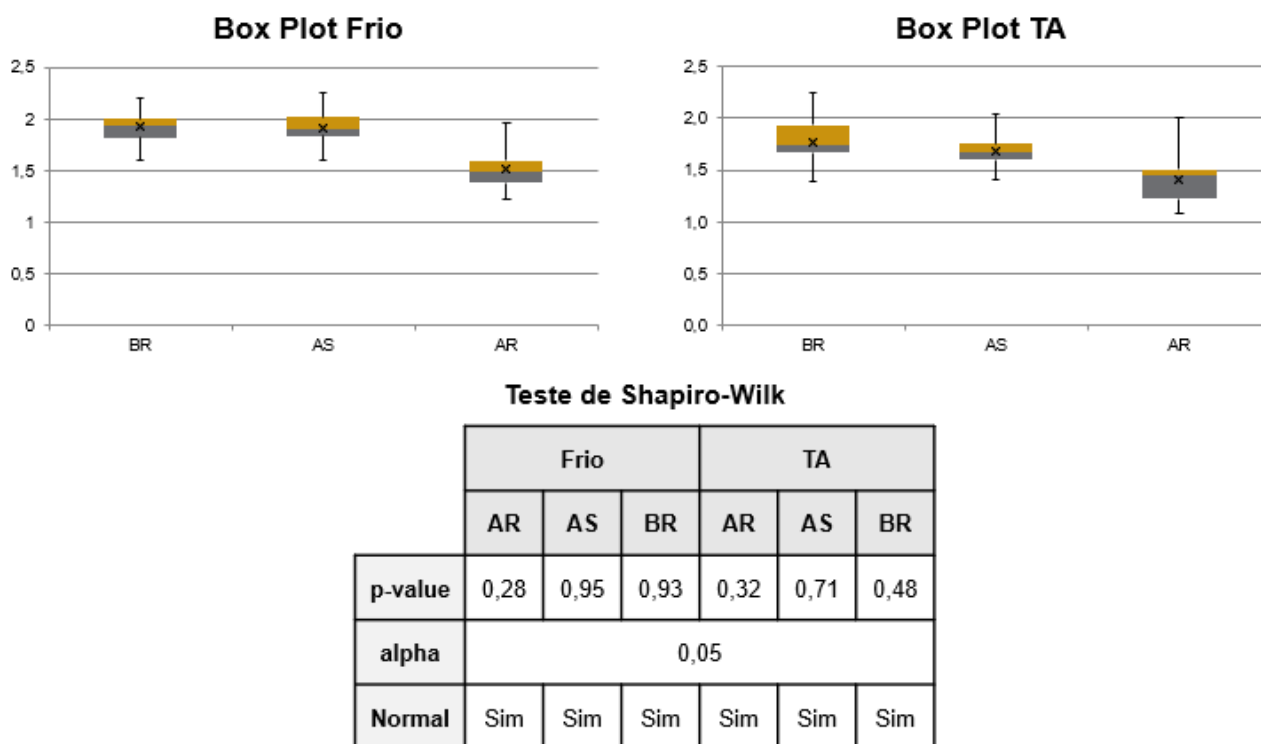


Figura C.7: Gráfico de bigodes e teste de Shapiro-Wilk para a deteção de outliers e a verificação da normalidade dos resultados obtidos no ensaio 2.

Para além do teste *t* de *student* realizado para o segundo teste do primeiro ensaio, também se realizou uma análise ANOVA para comparar os resultados obtidos por fornecedor, tanto a frio como à TA. Neste caso, recorreu-se à análise ANOVA uma vez que se trata de 3 conjuntos de amostras (cápsula AR, AS e BR).

Com os pressupostos já validados, recorreu-se à ferramenta ANOVA para perceber qual das hipóteses deveria ser aceite, ou H_0 (“média AR=média AS=média BR”) ou H_1 (“pelo menos uma das médias é diferente”). Com este teste apenas se percebe se existem ou não diferenças significativas, não se distinguindo qual ou quais são diferentes. Se efetivamente existirem diferenças significativas pode realizar-se o teste de Tuckey HSD, que compara os grupos de resultados dois a dois. No presente caso comparou-se AR com AS, AR com BR e AS com BR. Para o teste de Tuckey HSD também foi necessária a definição da hipótese H_0 e H_1 , sendo respetivamente “média 1=média 2” e “média 1≠média 2”.

Os resultados de *p-value* obtidos para a análise ANOVA foram de $1,8 \times 10^{-10}$ para as amostras frias e de $3,1 \times 10^{-6}$ para as amostras à TA. Como ambos os valores são inferiores a 0,05, considerou-se que existiam diferenças significativas entre as médias dos valores de torque medidos para os diferentes fornecedores (rejeitou-se H_0 e aceitou-se H_1). Pela análise de Tuckey HSD verificou-se que, tanto para as amostras frias como à TA, o *p-value* entre AS e BR foi superior a 0,05 (aceitou-se H_0) e entre AS e AR e entre BR e AR foi inferior a 0,05 (rejeitou-se H_0 e aceitou-se H_1). Isto é, a média dos resultados obtidos para AR é significativamente diferente da média dos resultados obtidos para AS e para BR, mas a média dos resultados para AS não é significativamente diferente da média dos resultados para BR.

Relativamente ao segundo ensaio referente à comparação dos valores de torque medidos em diferentes equipamentos (T1, T2 e T3), verificou-se que as amostras eram independentes, não existiam *outliers*, mas os resultados obtidos da medição no T2 não seguiam distribuição normal (valores muito semelhantes) e não existia homogeneidade de variâncias (*p-value* = 0,04 < 0,05). Desse modo, não foi possível aplicar a análise ANOVA, tendo-se aplicado em seu lugar um teste de Welch, que permite aferir o mesmo que o teste ANOVA, mesmo que os pressupostos não tenham sido cumpridos. A primeira opção passa sempre por aplicar o teste ANOVA, uma vez que é mais fiável que o teste de Welch, no entanto, como não foi possível a sua aplicação, optou-se pelo segundo.

Igualmente ao primeiro ensaio, as hipóteses foram H_0 (“média T1=média T2=média T3”) e H_1 (“pelo menos uma das médias é diferente”). Do teste de Welch obteve-se um *p-value* de $0,57 > 0,05$, tendo sido aceite H_0 e considerado que os valores obtidos para cada torquímetro não apresentaram diferenças significativas.

No quarto ensaio realizaram-se duas análises *t* de *student*. Uma análise serviu para comparar as medições de torque obtidas para amostras capsuladas em capsuladores de linhas de enchimento diferentes, enquanto a segunda análise serviu para comparar os resultados obtidos nesse ensaio para as amostras capsuladas no capsulador da L1 com os resultados do primeiro teste do primeiro ensaio para a TA. Também, a segunda análise teve como objetivo despistar o fator operador de medição. No ensaio 4 também se verificaram amostras independentes, dois conjuntos de amostras sem *outliers*, que seguem uma distribuição normal e também com variâncias homogéneas.

Para a primeira avaliação mencionada H_0 foi “média L1=média L2” e H_1 foi “média L1≠média L2”. Nesta, o *p-value* obtido foi de $0,06 > 0,05$, tendo sido aceite a hipótese H_0 . Relativamente à segunda avaliação H_0 foi “média ensaio 1=média ensaio 4” e H_1 foi “média ensaio 1≠média ensaio 4”, tendo-se obtido um *p-value* de $0,85 > 0,05$, também se aceitando H_0 .

O ensaio 5 permitiu indagar sobre a variação do valor de torque entre cabeças de capsulagem. Para tal, também se considerou necessária a execução de um teste estatístico. Na fase de validação dos pressupostos mencionados neste anexo, verificou-se que todos os 20 grupos seguiam distribuição normal e os *outliers* foram retirados. Porém, no teste de Levene não se constatou homogeneidade de variâncias ($p\text{-value}=0,004 < 0,05$). Desse modo, não foi possível a aplicação da análise ANOVA, tendo-se optado por um teste de Welch. Nesse teste, H_0 foi “todas as médias são iguais” e H_1 foi “pelo menos uma média não é igual”, do qual resultou um *p-value* superior a 0,05 e igual a 0,07, tendo-se aceitado H_0 .

O ensaio de perceção revelou-se de elevada importância de modo a perceber se o fator cápsulas húmidas/temperatura interfere na forma de abertura. Na figura C.8 encontram-se as classificações atribuídas pelos participantes de LB, tanto em amostras frias como à temperatura ambiente.

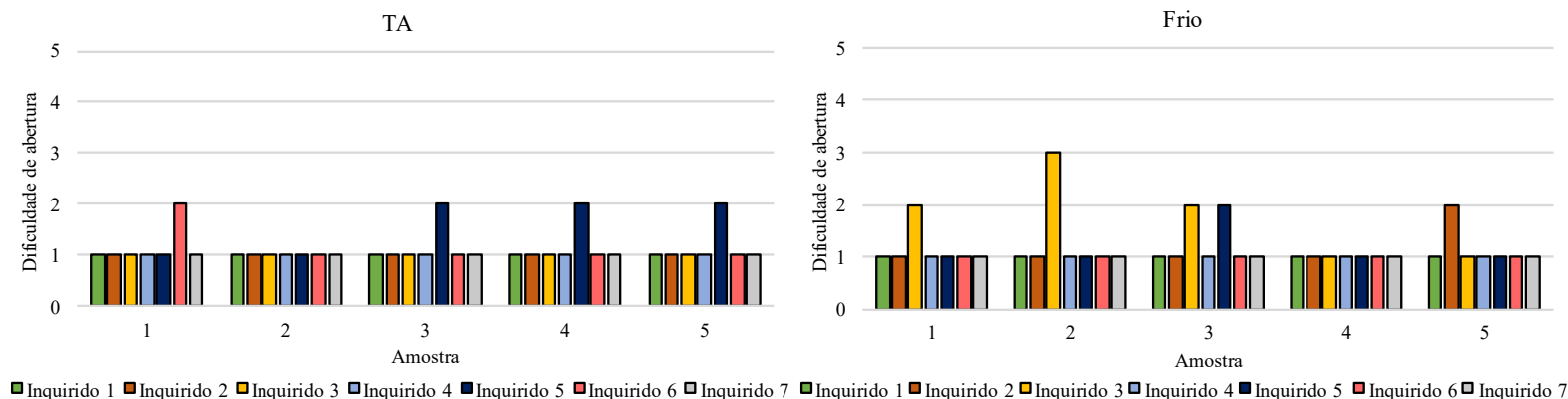


Figura C.8: Classificações atribuídas de 1 a 5 pelos participantes do ensaio de perceção realizado em LB, para amostras à temperatura ambiente e amostras frias.

Duas das oito marcas de águas gasocarbónicas usadas no *benchmarking* eram capsuladas com cápsulas Talog. Na figura C.9 encontra-se uma imagem deste tipo de cápsula.



Figura C.9: Cápsula Talog [45].

De modo a efetuar a medição do *slip* e do *break torque*, recorreu-se a um equipamento semelhante ao presente na figura C.10. No equipamento utilizado a medição foi sequencial, medindo-se primeiro o valor do *slip* e de seguida do *break torque*.



Figura C.10: Torquímetro Mecmesin 876-101 Tornado [46].

Em seguida apresenta-se o procedimento seguido para as medições mencionadas:

1. Abrir os pinos de fixação inferiores e encaixar a garrafa;
2. Prender a garrafa até que não exista espaço entre a base da garrafa e todos os pinos de fixação inferiores;
3. Zerar a unidade de exibição do torque;
4. Com a mão dominante, envolver a cápsula como se fosse abrir a mesma;
5. Com a outra mão carregar no “play” do painel de controlo (sem retirar a mão da cápsula);
6. Realizar força de abertura no sentido contrário aos ponteiros do relógio (a base da garrafa irá girar no sentido dos ponteiros do relógio) sem partir as pontes;
7. Anotar o valor do *slip torque*;
8. Zerar a unidade de exibição do torque;
9. Continuar com a força de abertura, até partirem as pontes;
10. Anotar o valor do *break torque*;
11. Abrir os pinos de fixação inferiores e retirar a garrafa;
12. Retirar o líquido das garrafas e descartá-lo;
13. Descartar as garrafas e cápsulas utilizadas.

Após os testes preliminares e aquando do início da mudança das molas do capsulador, verificou-se que as novas molas não eram compatíveis com o equipamento, como é possível observar pela figura C.11. Embora as molas fossem de 200 kgf, eram mais compridas e mais finas que as adequadas, não se ajustando ao capsulador em questão. Assim, não foi possível a alteração destas.

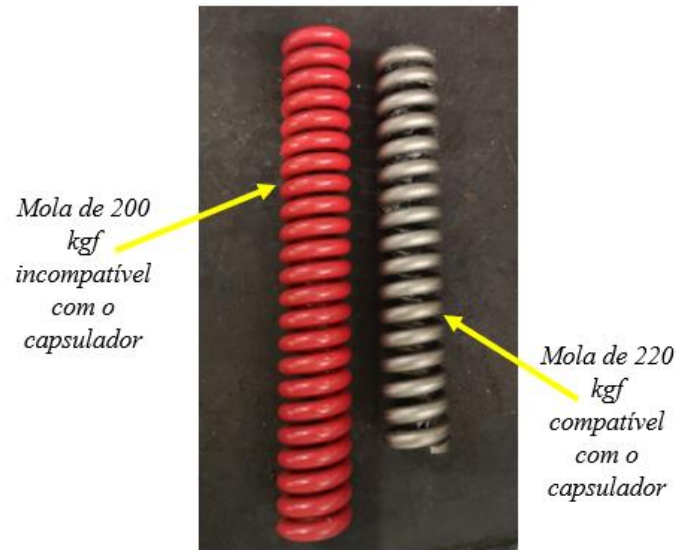


Figura C.11: Molas de 200 kgf e 220 kgf, compatíveis com equipamentos diferentes.