



INÊS GARCIA MATIAS

Licenciada em Biologia

Ramo de Biologia Celular e Biotecnologia

REDUÇÃO DE FALHAS DE COR NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA
IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS TPM

MESTRADO EM TECNOLOGIA E SEGURANÇA ALIMENTAR

Universidade NOVA de Lisboa

Setembro, 2023

REDUÇÃO DE FALHAS DE COR NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS TPM

INÊS GARCIA MATIAS

Licenciada em Biologia,
Ramo de Biologia Celular e Biotecnologia

Orientadora: Prof.^a Doutora Ana Lúcia Monteiro Durão Leitão,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA

Coorientador: Eng.^o João Paulo de Sousa Reis Mendes,
Brewing & Utilities Manager, Sociedade Central de Cervejas e Bebidas

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Maria Paula Amaro de Castilho Duarte,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA

Arguente: Eng.^a Sofia Tourais Ferreira,
Brewing Quality Specialist, Sociedade Central de Cervejas e Bebidas

Orientador: Prof.^a Doutora Ana Lúcia Monteiro Durão Leitão,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA

Redução de Falhas de Cor no Processo de Produção de Cerveja. Otimização de um Processo Industrial através da Implementação de Ferramentas TPM.

Copyright © Inês Garcia Matias, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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

Aos meus Pais e Amigos.

AGRADECIMENTOS

Aproximando-se o término de mais uma jornada académica, vale realçar o apoio incondicional das pessoas que trilharam comigo este desafio.

Antes de mais, um forte agradecimento à Professora Doutora Ana Lúcia Leitão pela compreensão e carinho que sempre me ofereceu e pela confiança e permanente incentivo em demonstrar o melhor das minhas capacidades.

Da mesma forma, um profundo reconhecimento ao Engenheiro João Paulo Mendes por me ter acolhido calorosamente na sua equipa e por todo o tempo investido comigo no decorrer deste projeto. Foi a constante partilha do seu saber que me tornou numa entusiasta quanto à arte da fabricação de cerveja.

Neste meio, fica impossível não agradecer, ainda, a paciência desmedida e o contributo valioso da Engenheira Sofia Ferreira e do Engenheiro Miguel Carvalho, bem como de todos os técnicos e operadores do chão de fábrica. Aqui, um especial obrigada ao Adiel Santos, Ailson Santos, André Semedo, Andriy Nikolin, Carlos Simões, Fábio Monteiro, Frederico Gião, Henrique Silva, João Cesinando, José Sousa, Lúcio Eduardo, Luís Figueiredo, Marco Silva, Paulo Moreira, Paulo Quintas, Pedro Diogo e Ricardo Freitas, pela prontidão na cooperação em qualquer ensaio e pela constante boa disposição. À restante equipa da sala de controlo, nomeadamente aos coordenadores José Caneira, Pedro Pereira e Tiago Soares, expresso a minha gratidão por terem participado ativamente na minha integração e aprendizagem.

A par de todos estes, agradeço ao João Faustino por toda a prestabilidade e por me ter permitido aproximar à sua incrível equipa de laboratório. Por todos os ensinamentos e ajuda dada no decorrer deste trabalho, sem menosprezar os radiantes momentos de descontração, um enorme obrigada à Elisabete Cordeiro, Jaime Moreno, Jorge Castro, Liliana Cardoso, Maria Tomás e Raquel Mendes.

Vale também destacar o meu sincero reconhecimento à Catarina Rocha pelo apoio e capacidade em descomplicar a temática da melhoria contínua, e, ainda, ao pessoal da Malteria por toda a simpatia e por me ter permitido chegar perto.

Não menos importante, um grande agradecimento à minha companhia diária no decorrer deste projeto. Obrigada, Margarida, pelo constante apoio e partilha de opiniões, e, claro, pela leveza que trouxeste a esta caminhada graças à tua energia contagiante.

Posto isto, resta-me agradecer à entidade Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. pelo privilégio em ingressar numa Empresa de elevada notoriedade e por me ter proporcionado todos os recursos, técnicos e humanos, fundamentais à concretização desta dissertação.

E porque todas as conquistas profissionais têm um lado pessoal, não pode faltar o reconhecimento a todos os meus amigos. Obrigada, querida Joana, pelo lugar que ocupas em mim e por teres acompanhado toda a construção do meu ser, vivenciando as minhas conquistas desde sempre. Obrigada, Beatriz e Margarida, por terem tomado parte de mim e elevado todas as minhas capacidades a níveis que nem eu acreditava. Também a vocês, Diana e Sara, que partilharam comigo este último desafio académico, um grande obrigada.

Por último, um especial agradecimento à minha família por estarem sempre presentes e por proporcionarem todos os meios para a minha evolução pessoal e profissional. Pai, Mãe e Mano, estar-vos-ei eternamente grata. Também a ti, André, obrigada pelo apoio incessante e por contribuíres para a melhor versão de mim. Com tudo isto, parte do meu sucesso será sempre vosso.

"It always seems impossible until it's done."

Nelson Mandela

RESUMO

A cor é um dos atributos da cerveja que mais influencia a forma como o consumidor percebe e experimenta o produto, devendo ser alvo de particular atenção por parte dos mestres cervejeiros. Na Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A., este parâmetro de qualidade foi identificado como prioritário de atuação por ser, de entre os restantes rotineiramente analisados, o segundo que mais contribui para a totalidade das falhas detetadas. Além disso, se considerarmos a quantidade de falhas referentes ao número de amostras analisadas dentro de cada parâmetro, a cor ocupa o sexto lugar com quase um quinto das suas amostras a apresentarem defeito. Desta forma, revelou-se urgente entender quais os principais fatores com influência na cor da cerveja de modo a sugerir possíveis melhorias inerentes ao processo de fabrico que possibilitem a redução da ocorrência destas falhas.

Estes objetivos foram eficazmente conseguidos com base no modelo de Gestão Produtiva Total implementado na Empresa, em particular com a efetivação do Passo 5 da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada. De facto, as várias ferramentas em que a concretização deste Passo assenta, permitiram a identificação dos principais pontos críticos ao longo do processo cervejeiro com impacto na cor desta bebida. Para aqueles que revelaram uma necessidade ou oportunidade de melhoria, foram sugeridas várias estratégias para aumentar o seu nível de controlo. Destas, apenas as ações passíveis de serem implementadas deram rumo a este trabalho, e focaram-se nas principais problemáticas identificadas: a falta de homogeneidade da cor do malte torrado e a aparente falta de controlo da etapa de correção de cor com extrato de malte. Além destas, procedeu-se ainda, com sucesso, à revisão dos intervalos de especificação de cor das várias amostras incluídas no plano de amostragem da Empresa e sua adequação, quando pertinente, aos valores reais do processo.

Palavras-chave: Cerveja; Cor; Gestão Produtiva Total; Malte Torrado; Extrato de Malte

ABSTRACT

Colour is one of the attributes of beer that most influences the way the consumer perceives and experiences the product, thus it should receive particular attention from brewmasters. At Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A., this quality parameter was identified as a priority for action because it is, among the others routinely analysed, the second highest contributor to the totality of faults detected. Furthermore, if we consider the number of failures relative to the number of samples analysed within each parameter, colour occupies sixth place with almost a fifth of its samples showing defects. Therefore, it became urgent to understand the main factors that influence the colour of the beer, in order to propose improvements inherent to the manufacturing process that could enable the reduction of these failures.

These objectives were effectively achieved with the Total Productive Management model implemented in the Company, in particular with the implementation of Step 5 of the Autonomous and Planned Maintenance Team Route. In fact, the various tools on which the implementation of this Step is based, allowed the identification of the main critical points throughout the brewing process that impact the colour of this beverage. For those that revealed a need or opportunity for improvement, several strategies were suggested to increase the level of control. Among those actions, the lack of homogeneity in the colour of dark malt and the apparent lack of control over the colour correction stage with malt extract were identified as the principal problems being the focus of the present work. In addition to these, the colour specification ranges of the various samples included in the Company's sampling plan were also successfully reviewed and, when relevant, were adapted to the actual values of the process.

Keywords: Beer; Colour; Dark Malt; Malt Extract; Total Productive Management

ÍNDICE

1	ABORDAGEM INTRODUTÓRIA	1
1.1	Motivação e Caracterização do Problema	1
1.2	Organização do Documento	3
2	SOCIEDADE CENTRAL DE CERVEJAS E BEBIDAS, S.A.	7
2.1	Enquadramento Histórico	7
2.2	Marcas Associadas	11
2.2.1	Sagres®	11
2.2.2	Heineken®	13
2.3	Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança	14
2.3.1	Normas ISO	14
2.3.2	<i>Laboratory Star System</i>	15
2.3.3	Gestão Produtiva Total	15
3	MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL E GESTÃO PRODUTIVA TOTAL	17
3.1	Evolução do Conceito de Manutenção	17
3.1.1	Manutenção Produtiva Total	18
3.2	Implementação da Gestão Produtiva Total	20
3.2.1	Ferramentas Auxiliares.....	23
3.2.1.1	Indicadores-Chave de Desempenho.....	23
3.2.1.2	<i>Kaizen</i>	25
3.2.1.3	Sistema 5S.....	25

3.2.1.4 Ciclos Planear–Executar–Verificar–Agir e Padronizar–Executar–Verificar–Agir	26
3.2.1.5 Análise das Causas–Raiz da Falha.....	27
3.2.1.6 Plano de Limpar–Inspeccionar–Lubrificar–Apertar	27
3.2.1.7 Lição de Um Ponto.....	28
3.2.1.8 Diagrama de Pareto	28
3.2.1.9 Matrizes de Controlo de Qualidade	29
4 A CERVEJA.....	31
4.1 História da Cerveja.....	32
4.1.1 Setor Cervejeiro no Mundo	33
4.1.2 Setor Cervejeiro em Portugal	34
4.2 Processo Cervejeiro	36
4.2.1 Matérias-Primas.....	36
4.2.1.1 Água.....	36
4.2.1.2 Cereais Maltados e Adjuntos.....	37
4.2.1.3 Lúpulo.....	41
4.2.1.4 Levedura.....	43
4.2.1.4.1 Tipos de Cervejas	44
4.2.1.5 Auxiliares tecnológicos e Aditivos alimentares.....	45
4.2.2 Etapas de Produção.....	49
4.2.2.1 Maltagem.....	49
4.2.2.1.1 Molha	50
4.2.2.1.2 Germinação	50
4.2.2.1.3 Secagem	51
4.2.2.1.4 Torrefação.....	52
4.2.2.1.5 Desradiculagem.....	52
4.2.2.2 Fabrico de Mosto ou Brassagem.....	52
4.2.2.2.1 Moagem de Cereais Maltados e Adjuntos.....	53
4.2.2.2.2 Mistura.....	53

4.2.2.2.3	Empastagem e Caldas.....	54
4.2.2.2.4	Filtração do Empaste.....	55
4.2.2.2.5	Fervura do Mosto	56
4.2.2.2.6	Clarificação do Mosto	57
4.2.2.2.7	Arrefecimento e Arejamento do Mosto.....	57
4.2.2.3	Fermentação.....	58
4.2.2.4	Guarda	59
4.2.2.5	Filtração	59
4.3	Considerações Legais.....	60
5	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA CERVEJA: A COR.....	63
5.1	Impacto da Cor da Cerveja.....	66
5.2	Perceção e Determinação da Cor da Cerveja.....	72
5.2.1	Método Espectrofotométrico.....	76
5.2.1.1	Escala de Cor EBC e SRM.....	78
5.3	Origens da Cor da Cerveja	81
5.3.1	Reações de Escurecimento Não Enzimático	81
5.3.1.1	Reações de Escurecimento Não Enzimático no Processo Cervejeiro	86
5.3.2	Oxidação de Compostos Fenólicos	88
5.3.2.1	Oxidação de Compostos Fenólicos no Processo Cervejeiro	90
6	METODOLOGIA	93
6.1	Modelo de Gestão Produtiva Total na SCC	93
6.1.1	Pilar de Gestão Autónoma da Fabricação de Cerveja	95
6.1.1.1	Rota de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada	96
6.1.1.1.1	Rota de Implementação do Passo 5	97
6.2	Plano de Amostragem para Determinação da Cor	99
6.2.1	Métodos para Determinação da Cor de Malte, Mosto e Cerveja.....	101
6.2.2	Limites de Especificação para a Cor	105
6.3	Tratamento de Dados de Cor.....	106
7	ABORDAGEM EXPERIMENTAL	109

7.1	Análise ao Histórico de Resultados de Cor	109
7.1.1	Desdobramento por Fases do Processo	111
7.1.2	Desdobramento por Marcas.....	113
7.1.3	Diagrama de Pareto.....	114
7.1.4	Análise ao Histórico do FTR Cor.....	114
7.2	Planeamento de Ações de Melhoria.....	117
7.2.1	Matriz QA	117
7.2.1.1	Fluxograma do Processo Cervejeiro	117
7.2.2	Matriz QX	118
7.2.2.1	Determinação dos Pontos Críticos de Qualidade	119
7.2.3	Matriz QM	127
7.3	Desenvolvimento das Ações de Melhoria.....	140
7.3.1	Análise aos Limites de Especificação para Cor	140
7.3.2	Brassagem	148
7.3.2.1	Procedimento de Correção de Cor do Mosto com Malte Carafa.....	149
7.3.2.1.1	Ajuste da Quantidade de Malte Carafa no Fabrico de Mosto.....	155
7.3.2.1.2	Homogeneização da Cor do Malte <i>Pilsen</i> e Malte Carafa.....	164
7.3.3	Fermentação e Guarda	171
7.3.4	Filtração.....	172
7.3.4.1	Procedimento de Correção de Cor da Cerveja com Extrato de Malte ...	172
7.3.4.1.1	Ajuste da Fórmula de Cálculo da Quantidade de Extrato de Malte	177
7.3.4.2	Operacionalidade do Equipamento de Correção de Cor	185
7.3.4.2.1	Carta de Controlo do Equipamento de Correção de Cor	189
7.4	Monitorização e Impacto das Ações de Melhoria.....	192
8	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....	199
	BIBLIOGRAFIA.....	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Emblema alusivo ao nascimento da Sociedade Central de Cervejas, em 1934, como resultado da fusão de quatro companhias cervejeiras portuguesas. Retirado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).	8
Figura 2.2 Inauguração da Fábrica de Vialonga, em 1968. Retirado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).	9
Figura 2.3 Atual imagem institucional da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. Retirado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).	10
Figura 2.4 Evolução histórica das garrafas Sagres®. Adaptado de (Sagres, s.d. b).	12
Figura 2.5 Portefólio atual de cervejas Sagres®.	13
Figura 2.6 Portefólio atual de cervejas Heineken®.	14
Figura 3.1 Pilares fundamentais da Gestão Produtiva Total (TPM).	20
Figura 4.1 Evolução dos volumes, em hL, de produção e consumo de cerveja ao longo das últimas décadas em Portugal.	35
Figura 4.2 Morfologia de um grão de cevada em corte transversal, com indicação dos principais constituintes. Adaptado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017).	38
Figura 5.1 Principais variáveis que influenciam a escolha da cerveja por parte do consumidor.	65
Figura 5.2 Modelo tridimensional de cores, com destaque para os principais três atributos: luminosidade, tonalidade e saturação. Adaptado de (Shellhammer, 2009).	73
Figura 5.3 Sistema de cores de Munsell. Adaptado de (Kalloniatis & Luu, 2005).	74
Figura 5.4 Espectro de absorvância de diferentes estilos de cerveja. Adaptado de (Shellhammer, 2009).	79
Figura 5.5 Representação visual das escalas de cor EBC e SRM, com destaque para alguns dos principais estilos de cervejas.	80

Figura 5.6 Reação entre um açúcar redutor e um aminoácido, péptido ou proteína que ocorre na fase inicial da reação de <i>Maillard</i>	82
Figura 5.7 Esquema da formação de melanoidinas pela reação de <i>Maillard</i> . Adaptado de (Gresser, 2009).....	84
Figura 5.8 Estrutura base de um composto fenólico, também conhecida como grupo fenol.....	88
Figura 6.1 Organização dos Pilares do modelo de Gestão Produtiva Total da SCC, denominado TPM <i>Next</i> . Adaptado de (Heineken, 2018 a).....	94
Figura 6.2 Estrutura do Pilar de Gestão Autónoma (GA) da Fabricação de Cerveja da filosofia TPM <i>Next</i> seguida na SCC, com os Passos da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP). Adaptado de (Heineken, 2018 a).....	95
Figura 6.3 Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP) da filosofia TPM <i>Next</i> seguida na SCC. Adaptado de (Heineken, 2018 b).....	96
Figura 6.4 Etapas para a implementação do Passo 5 da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP) da filosofia TPM <i>Next</i> seguida na SCC.....	97
Figura 6.5 Sistema de Análise de Cervejas <i>Alcolyzer</i> [®] , da <i>Anton Paar</i>	104
Figura 6.6 Comparador <i>Daylight 2000 Unit</i> , da <i>Lovibond</i> [®]	104
Figura 7.1 Análise de falhas, no período de 2021 e 2022, dos dezoito parâmetros de qualidade analisados na SCC, incluindo a cor, quanto à totalidade de falhas de todos os parâmetros e quanto à totalidade de amostras de cada parâmetro.	110
Figura 7.2 Distribuição das amostras analisadas na SCC, no período de 2021 e 2022, consoante incluíam ou não a determinação da cor e respetiva segmentação em amostras com e sem falhas.	111
Figura 7.3 Desdobramento das amostras com e sem falhas de cor por fases do processo, nomeadamente Brassagem, Guarda e Filtração, e respetiva % de falhas quanto à totalidade de amostras analisadas em cada fase.	112
Figura 7.4 Desdobramento das amostras com e sem falhas de cor por marcas de cervejas produzidas na SCC, e respetiva % de falhas quanto à totalidade de amostras analisadas em cada marca.....	113
Figura 7.5 Diagrama de Pareto para as falhas de cor das cervejas produzidas na SCC, considerando as causas na forma de binómio fase/marca.....	115
Figura 7.6 Análise ao FTR Cor nos anos de 2021, 2022 e 2023, sendo que este último apenas contém dados até ao final do mês de junho. A linha verde mostra o objetivo delineado para este FTR em cada ano.....	116
Figura 7.7 Matriz QX resumida para os modos de defeito "cor baixa" e "cor alta"	119

Figura 7.8 Distribuição normal dos valores de cor de mosto arrefecido de Sagres®, o correspondente à fase de Brassagem, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	141
Figura 7.9 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja verde de Sagres®, o correspondente à fase de Guarda, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	142
Figura 7.10 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja filtrada de Sagres®, o correspondente à fase de Filtração, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	142
Figura 7.11 Distribuição normal dos valores de cor de mosto arrefecido de Heineken®, o correspondente à fase de Brassagem, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	145
Figura 7.12 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja verde e maturada de Heineken®, o correspondente à fase de Guarda, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	146
Figura 7.13 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja filtrada de Heineken®, o correspondente à fase de Filtração, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	146
Figura 7.14 LUP sobre a medição da cor de mosto quente de Sagres®, após ebulição, e respetivo procedimento de correção de cor.	150
Figura 7.15 Aparência de uma amostra de empaste (A) e de mosto denso (B).	156
Figura 7.16 Dados de cor, em EBC, das amostras de mosto denso, mosto quente e mosto arrefecido dos fabricos analisados, nomeados de A a I.	157
Figura 7.17 Dados de extrato, em °P, das amostras de mosto denso, mosto quente e mosto arrefecido dos fabricos analisados.	158
Figura 7.18 Relação entre a cor, em EBC, das amostras de mosto arrefecido e as amostras de mosto quente dos fabricos analisados.	159
Figura 7.19 Relação entre a cor, em EBC, das amostras de mosto quente e as amostras de mosto denso dos fabricos analisados.	159
Figura 7.20 Relação entre a cor, em EBC, e o extrato, em °P, de todas as amostras de mosto denso, quente e arrefecido dos fabricos analisados.	162
Figura 7.21 Distribuição normal dos valores de cor do malte <i>Pilsen</i> , classificados nas diversas variedades de A a E, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	165

Figura 7.22 Distribuição normal dos valores de cor das misturas de malte <i>Pilsen</i> mais abundantemente utilizadas, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.....	165
Figura 7.23 Distribuição normal dos valores de cor do malte carafa e da mistura de malte carafa, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.	166
Figura 7.24 Equipamento de doseamento de extrato de malte para correção de cor da cerveja filtrada instalado na SCC.	173
Figura 7.25 Representação do <i>Excel</i> com o modo de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear. A azul estão representadas as variáveis necessárias de serem introduzidas, com destaque para aquela parcela que se deve fazer variar até à obtenção da cor final desejada, assinalada a verde. A amarelo estão retratadas as variáveis auxiliares para o ajuste do valor de cor em guarda.	174
Figura 7.26 LUP sobre o procedimento de adição de extrato malte, com alerta para a consideração da purga automática do equipamento aquando do seu arranque.	175
Figura 7.27 Análise de 5 porquês para a problemática de cor alta e fora de especificação em Bohemia Bock®.....	179
Figura 7.28 Esquema do ensaio laboratorial para a determinação da relação entre a quantidade de extrato de malte doseada e a variação de cor na cerveja final.	181
Figura 7.29 Resultado final dos catorze ensaios, numerados de 1 a 14, resultantes da mistura de cerveja de cor clara com uma dose gradual de extrato de malte.	182
Figura 7.30 Relação entre a cor da cerveja, em EBC, e a quantidade de extrato de malte incorporada relativamente ao seu volume, em kg/hL, discriminada consoante a determinação da cor tenha sido realizada pelo espectrofotómetro, pelo Sistema de Análise de Cervejas <i>Alcolyzer</i> ®, ou estimada pela fórmula de cálculo atual.	183
Figura 7.31 Representação do <i>Excel</i> com o novos modos de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear e do valor de cor final. A azul estão representadas as variáveis necessárias de serem introduzidas para a obtenção da variável assinalada a verde, e a amarelo estão retratadas as variáveis auxiliares para o ajuste do valor de cor em guarda.	185
Figura 7.32 LUP sobre a determinação do rácio de cor.	187
Figura 7.33 Representação do <i>Excel</i> com a carta de controlo elaborada para o equipamento de correção de cor com extrato de malte, estando selecionado o período desde janeiro de 2023 até junho de 2023.....	191
Figura 7.34 Representação do <i>Excel</i> com a tabela que contempla os dados estatísticos referentes aos desvios de cor ao longo do último ano.	192

Figura A.1 Fluxograma do processo cervejeiro seguido na SCC, dividido nas três principais fases que o caracterizam: brassagem, fermentação e guarda, e filtração. A azul escuro estão caracterizadas as várias etapas do processo produtivo, a azul claro estão representadas as matérias-primas e a laranja estão indicados os principais subprodutos gerados..... 214

Figura A.2 Matriz QX completa, em escala reduzida, para os para os modos de defeito "cor baixa" e "cor alta". A verde estão assinalados os pontos Q selecionados e respectivas associações com os equipamentos e seus componentes e as fases do processo. 217

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 Principais auxiliares tecnológicos e aditivos alimentares, e respetivas funções, utilizados na indústria cervejeira.	46
Tabela 5.1 Resumo dos estudos citados acerca do impacto da cor da cerveja na expectativa do consumidor antes da degustação e/ou na sua perceção durante e após a degustação.	69
Tabela 6.1 Intervalos de especificação de cor, em EBC, para as amostras com análise de cor do plano de amostragem da SCC, cingindo-se às principais marcas de cerveja representadas pela Empresa.	106
Tabela 7.1 Pontuações totais das matrizes QM associadas aos padrões dos pontos Q para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes.	128
Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas.	133
Tabela 7.3 Índices de capacidade do processo, Cp e Cpk, para a cor das amostras de mosto arrefecido, cerveja verde e maturada, e cerveja filtrada das marcas Sagres® e Heineken®.	147
Tabela 7.4 Novos limites de especificação para cor, em EBC, de mosto arrefecido de Heineken®, cerveja verde de Sagres® e cerveja verde e maturada de Heineken®, bem como o respetivo impacto na redução de falhas deste parâmetro de qualidade.	148

Tabela 7.5 Hipóteses de extrapolação do intervalo de especificação de cor de mosto quente para a estimativa de um intervalo de especificação de cor de mosto denso, ambos em EBC.	161
Tabela 7.6 Índices de capacidade do processo, C_p e C_{pk} , para a cor das amostras de malte <i>Pilsen</i> , mistura de malte <i>Pilsen</i> , malte carafa e mistura de malte carafa.	168
Tabela 7.7 Novo limite de especificação para cor, em EBC, de malte carafa, bem como o respetivo impacto nos índices de capacidade do processo C_p e C_{pk}	169
Tabela 7.8 Valores de cor, em EBC, das amostras de malte carafa analisadas tanto pelo método de rotina como pelo método alternativo proposto, e respetiva diferença percentual entre ambos.	171
Tabela 7.9 Atualização das pontuações totais das matrizes QM respetivas às ações de melhoria propostas para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes.	193

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 Eficiência Geral do Equipamento (OEE), expressa em %.....	24
Equação 3.2 Disponibilidade, expressa em %.....	24
Equação 3.3 Desempenho, expresso em %.....	24
Equação 3.4 Qualidade, expressa em %.....	25
Equação 5.1 Transmitância (T), num dado comprimento de onda λ , com base na energia da luz incidente (I_0) e dissipada (I).....	76
Equação 5.2 Absorvância (A) pela transmitância (T), num dado comprimento de onda λ	76
Equação 5.3 Transmitância (T) pela absorvância (A), num dado comprimento de onda λ	77
Equação 5.4 Lei de Lambert-Beer, onde A indica absorvância, ε o coeficiente de absorção molar, l a espessura atravessada pelo feixe de luz, e c a concentração da amostra.	77
Equação 5.5 Determinação da cor, em EBC, pela absorvância a 430 nm e considerando-se cuvets de vidro com 1 cm ²	79
Equação 5.6 Determinação da cor, em SRM, pela absorvância a 430 nm e considerando-se cuvets de vidro com 1 cm ²	79
Equação 6.1 Determinação da cor, em EBC, pela absorvância a 430 nm e tendo em conta o fator de diluição, considerando-se cuvets de vidro com 1 cm ²	103
Equação 6.2 Índice Cp, de capacidade potencial, considerando o desvio padrão das amostras (σ).....	108
Equação 6.3 Índice Cpk, de capacidade potencial com o k a referir-se ao fator de centralização, considerando a média (μ) e o desvio padrão (σ) das amostras.	108
Equação 6.4 FTR Cor, expresso em %.....	108
Equação 7.1 Regressão linear da cor de mosto denso, em EBC, em função da cor de mosto quente, em EBC.....	160

Equação 7.2 Regressão linear da cor de mosto denso, quente ou arrefecido, em EBC, em função do extrato de mosto denso, quente ou arrefecido, em °P.	162
---	-----

ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
AGEs	Produtos Finais de Glicação Avançada, do inglês <i>Advanced Glycation End-products</i>
ARP	Produto de Rearranjo Amadori, do inglês <i>Amadori Rearrangement Product</i>
ASBC	Sociedade Americana da Indústria Cervejeira de Malte e Afins, do inglês <i>American Society of Brewing Chemists</i>
ATP	Adenosina Trifosfato, do inglês <i>Adenosine Triphosphate</i>
A_w	Atividade da Água, do inglês <i>Water Activity</i>
CIE	Comissão Internacional de Iluminação, do francês <i>Commission Internationale de L'Eclairage</i>
CILT	Limpar–Inspeccionar–Lubrificar–Apertar, do inglês <i>Clean–Inspect–Lubricate–Tighten</i>
CIP	Limpeza no Local, do inglês <i>Cleaning in Place</i>
CM	Manutenção Corretiva, do inglês <i>Corrective Maintenance</i>
C_p	Índice de Capacidade Potencial do Processo
C_{pk}	Índice de Capacidade Potencial do Processo, com o k a referir-se ao fator de centralização do processo
DCS	Sistema de Controlo Diário, do inglês <i>Daily Control System</i>
DMS	Dimetilsulfito, do inglês <i>Dimethylsulfide</i>

EBC	Convenção Europeia de Cervejeiros, do inglês <i>European Brewery Convention</i>
FAN	Azoto Aminado Livre, do inglês <i>Free Amino Nitrogen</i>
FTR	<i>First Time Right</i>
GA	Gestão Autónoma
GA&MP	Gestão Autónoma e Manutenção Planeada
HGB	Produção de Cerveja de Alta Densidade, do inglês <i>High-Gravity Brewing</i>
HoReCa	Hotéis, Restaurantes e Cafés
KPI	Indicador-chave de Desempenho, do inglês <i>Key Performance Indicator</i>
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
LSS	<i>Laboratory Star System</i>
LUP	Lição de Um Ponto
MP	Prevenção da Manutenção, do inglês <i>Maintenance Prevention</i>
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico, do inglês <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OEE	Eficiência Geral do Equipamento, do inglês <i>Overall Equipment Efficiency</i>
PDCA	Planear–Executar–Verificar–Agir, do inglês <i>Plan–Do–Check–Act</i>
PdM	Manutenção Preditiva, do inglês <i>Predictive Maintenance</i>
PLC	Controlo Lógico Programável, do inglês <i>Programmable Logic Controller</i>
PM	Manutenção Preventiva, do inglês <i>Preventive Maintenance</i>
Ponto Q	Ponto Crítico de Qualidade
PrM	Manutenção Produtiva, do inglês <i>Productive Maintenance</i>
PVP	Polivinilpirrolidona
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
QA	Garantia de Qualidade, do inglês <i>Quality Assurance</i>

QM	Manutenção da Qualidade, do inglês <i>Quality Maintenance</i>
QX	Qualidade X, do inglês <i>Quality X</i>
RCFA	Análise das Causas-Raiz da Falha, do inglês <i>Root Cause and Failure Analysis</i>
SCC	Sociedade Central de Cervejas e Bebidas S.A.
SDCA	Padronizar–Executar–Verificar–Agir, do inglês <i>Standardize –Do–Check–Act</i>
SRM	Método de Referência Padrão, do inglês <i>Standard Reference Method</i>
TCF	Tanque de Cerveja Filtrada
TPM	Manutenção Produtiva Total ou Gestão Produtiva Total, do inglês <i>Total Productive Maintenance</i> ou <i>Total Productive Management</i>
TQM	Gestão da Qualidade Total, do inglês <i>Total Quality Management</i>
UE	União Europeia
5M	Máquina, Método, Medição, Mão-de-Obra e Material
5S	Utilização, Organização, Limpeza, Padronização e Disciplina, do japonês <i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu</i> e <i>Shitsuke</i>

SÍMBOLOS E UNIDADES DE MEDIDA

A	Absorvância
a*	Variação da Cor entre Vermelho/Verde
b*	Variação da Cor entre Amarelo/Azul
c	Concentração da Amostra, em mol ⁻¹ ·L
C	<i>Chroma</i> , correspondente à saturação da cor
cm	Centímetro
CO₂	Dióxido de Carbono
EBC	Unidade de Cor, estabelecida pela Convenção Europeia de Cervejeiros
g	Grama
H	<i>Hue</i> , correspondente à tonalidade da cor
hL	Hectolitro
I	Energia da Luz Dissipada pela Amostra
I₀	Energia da Luz Incidente na Amostra
kg	Quilograma
kg/h	Quilograma por hora
kg/hL	Quilograma por hectolitro
L	Litro
L·mol⁻¹·cm⁻¹	Litro por mole centímetro

<i>l</i>	Espessura Atravessada pelo Feixe De Luz, em cm
L*	Luminosidade da Cor
mg	Miligrama
Mol	Mole
mol·L⁻¹	Mole por litro
mS	Milisiemens
n	Dimensão Amostral
nm	Nanometros
R²	Coeficiente de Determinação
SRM	Unidade de Cor, estabelecida pela Sociedade Americana da Indústria Cervejeira de Malte e Afins
T	Transmitância
V	<i>Value</i> , correspondente à luminosidade da cor
α	Nível de Significância
ε	Coeficiente de Absorção Molar, em L·mol ⁻¹ ·cm ⁻¹
λ	Comprimento de Onda
μ	Valor Médio Amostral
μm	Micrómetro
σ	Desvio Padrão Amostral
%	Porcentagem
±	Mais ou Menos
®	Marca Registrada
°C	Grau Celsius
°P	Grau Plato

ABORDAGEM INTRODUTÓRIA

1.1 Motivação e Caracterização do Problema

A constante evolução das tendências globais de consumo, marcada pela volatilidade do comportamento dos consumidores, impõe uma contínua adaptação por parte das indústrias (Petrescu et al., 2020). Atualmente, a qualidade dos alimentos, entendida como o seu grau de excelência e incluindo todas as características que influenciam a sua aceitabilidade, é um dos parâmetros fortemente valorizado. Como tal, cabe às indústrias procurar entender esses atributos de forma a lançar no mercado um produto em conformidade com as necessidades e expectativas dos consumidores, garantindo, assim, a sobrevivência e o sucesso competitivo da própria marca (Betancur et al., 2020; Peri, 2006; Petrescu et al., 2020).

Neste âmbito, o setor cervejeiro não é exceção e deve empenhar-se em produzir uma cerveja que se destaque pela sua cor, limpidez, espuma, amargor, teor alcoólico e conteúdo em dióxido de carbono (CO₂) (Betancur et al., 2020; Doorn et al., 2019; Lerro et al., 2020; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). De todos estes, a cor é um dos atributos organoléticos que se sobrepõe logo que a bebida é servida, impactando ativamente a forma como o consumidor irá perceber e experienciar o produto (Betancur et al., 2020; Doorn et al., 2019; Shellhammer & Bamforth, 2008). Como este parâmetro é largamente influenciado por diversos fatores ao longo de todo o processo produtivo, é da responsabilidade do mestre cervejeiro assegurar a manutenção de uma cor uniforme e apelativa na cerveja final (Shellhammer & Bamforth, 2008; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017).

Esta exigência quanto aos padrões de qualidade da cerveja é, ainda, acentuada pelo grande impacto que este produto representa na economia global, sendo a terceira bebida mais

popular do mundo e a mais consumida no setor de bebidas alcoólicas (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021). O último relatório anual da *The Brewers of Europe*, referente a 2021, revela que os seus Membros, incluindo as associações nacionais de cervejeiros de todos os Estados-Membros da União Europeia (UE) e países como a Suíça, Reino Unido, Noruega e Turquia, produziram cerca de 342 a 348 milhões de hectolitros (hL) de cerveja e consumiram à volta de 300 milhões de hL (The Brewers of Europe, 2022). É expectável que este mercado permaneça em crescimento nos próximos anos, admitindo-se que os valores de vendas aumentarão de 570 bilhões de euros, registados em 2022, para 754 bilhões de euros até 2027 (Statista, 2023). Desta forma, torna-se crucial que as cervejeiras consigam manter o seu processo de produção controlado e otimizado a fim de assegurar, não só, a qualidade do produto final, mas também uma vantagem em termos económicos.

Uma das principais metodologias neste contexto de melhoria contínua é a Gestão Produtiva Total, vulgarmente designada de TPM de *Total Productive Management*, cujos principais objetivos são maximizar a eficiência do processo de produção de modo a atingir zero perdas, zero defeitos e zero acidentes (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Nakajima, 1988). Adotada pela Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. com o nome TPM *Next*, esta filosofia permite controlar e aprimorar os parâmetros e indicadores de controlo do desempenho e qualidade das várias áreas da Empresa, desde as matérias-primas até ao produto final. Um destes indicadores-chave de desempenho é o *First Time Right* (FTR), que permite aferir, como o nome indica, a percentagem (%) de fabricos de cerveja que se encontram dentro das especificações “à primeira tentativa”. O FTR da Fabricação de Cerveja encontra-se subdividido nas três principais etapas que compõem a produção desta bebida: a Brassagem (FTR *Brewhouse*), a Fermentação e Guarda (FTR *Fermentation*), e a Filtração (FTR *Filtration*). Este último FTR é influenciado, entre outros, pelo FTR Cor, que no ano de 2022 ficou aquém do objetivo traçado, embora superior ao ano antecedente. Atuando como um reflexo do padrão de qualidade da Empresa, é do seu interesse melhorar continuamente estes indicadores, cujo cumprimento é ainda reconhecido pelo Grupo Heineken com a atribuição de distinções TPM nível Bronze, Prata ou Ouro.

Por esta razão, e tendo em conta que a cor foi definida como um dos parâmetros de qualidade prioritários de atuação pelo acentuado número de defeitos, os objetivos principais deste trabalho prendem-se com a compreensão dos principais fatores ao longo do processo produtivo com impacto neste atributo de forma a serem propostas melhorias que proporcionem uma redução da ocorrência destas falhas. De facto, a cor mostrou-se o segundo

parâmetro que mais contribui para a totalidade das falhas detetadas, em comparação com os demais rotineiramente analisados. Adicionalmente, ao levarmos em conta a quantidade de falhas em relação ao número de amostras analisadas para cada parâmetro, a cor ocupa a sexta posição com aproximadamente um quinto das suas amostras com defeito.

Como tal, no âmbito deste trabalho, foi criada uma equipa para a implementação do Passo 5 da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP), integrante da filosofia TPM *Next*, com o desenvolvimento de Matrizes de Garantia de Qualidade (QA, de *Quality Assurance*), Qualidade X (QX), e Manutenção da Qualidade (QM, de *Quality Maintenance*). Estas ferramentas auxiliam, precisamente, no estabelecimento de uma relação entre os defeitos de cor, o processo produtivo e os respetivos métodos de controlo, culminando com a definição de ações de melhoria para a otimização deste atributo organolético na cerveja.

1.2 Organização do Documento

A presente dissertação está organizada em oito principais capítulos, aos quais se seguem a listagem de todos os materiais de referência consultados, na secção Bibliografia, e, ainda, alguns elementos complementares relevantes no suporte deste estudo, na secção A Apêndices. Esta foi a estruturação que melhor se enquadrou com a complexidade inerente à temática desenvolvida.

No **Capítulo 1: Abordagem Introdutória** é feito um enquadramento inicial com a identificação da problemática que constitui a premissa para a realização deste projeto e enfatização da importância que a mesma traz, tanto a nível interno da Empresa que o acolhe como a nível global para a indústria cervejeira. Com isto, são, ainda, listados os objetivos que orientam a execução deste trabalho.

Ademais, é também neste primeiro capítulo que está contido este mesmo tópico descritivo da organização seguida ao longo do documento.

No **Capítulo 2: Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A.** é apresentada a Empresa que acolheu este projeto, com a referência a dados históricos, às principais marcas que representa, e aos compromissos que a mesma assume em matéria de qualidade, ambiente e segurança.

No **Capítulo 3: Manutenção Produtiva Total e Gestão Produtiva Total** são abordados os fundamentos gerais da metodologia de melhoria contínua adotada pela Empresa e que definem a estratégia seguida neste trabalho para a concretização dos seus principais objetivos.

Aqui, são explorados os pilares em que esta filosofia assenta e as ferramentas auxiliares à sua correta implementação para a garantia do sucesso das organizações.

No **Capítulo 4: A Cerveja** é feita uma apresentação a esta bebida e à sua evolução histórica, culminando com um retrato do panorama mais recente do setor cervejeiro no Mundo e em Portugal. São também referidos aspetos alusivos ao processo de fabricação de cerveja, nomeadamente matérias-primas e etapas de produção, e, ainda, ao enquadramento desta bebida na legislação nacional e europeia. Vale notar que o domínio destes temas é indispensável para a integração no ramo cervejeiro e para a real compreensão do foco deste trabalho.

No **Capítulo 5: Parâmetros de Qualidade da Cerveja: A Cor** são discutidas as variáveis que influenciam a escolha de uma cerveja por parte do consumidor e quais os principais atributos que este aprecia, com ênfase para a sua cor. O impacto deste parâmetro de qualidade é demonstrado com a referência a diversos estudos que comprovam a relação entre a cor da cerveja e a forma como o consumidor a percebe e experimenta. Nesta temática, é, ainda, esclarecido como este atributo sensorial é percebido ao nível do olho humano e são descritos vários métodos utilizados para a determinação da cor, com destaque, no contexto cervejeiro, para o método espectrofotométrico e as escalas de cor EBC e SRM. Por fim, são discutidos os principais fenómenos responsáveis pela cor da cerveja, quer a nível da escolha das matérias-primas quer relacionados a eventuais reações desencadeadas aquando do processo produtivo.

No **Capítulo 6: Metodologia** é explicitada a estrutura do modelo de Gestão Produtiva Total implementado na Empresa que guiou as diversas tarefas realizadas no decorrer deste trabalho. Ademais, são detalhados os tipos de amostras consideradas e os procedimentos seguidos para a determinação da sua cor, que deve estar compreendida no respetivo intervalo de especificação fixado. O modo como os vários dados de cor recolhidos foram tratados é também aqui descrito.

No **Capítulo 7: Abordagem Experimental** é realizada uma análise ao histórico de resultados de cor que determinou quais as áreas prioritárias de atuação na Empresa e sobre as quais foram sugeridas diversas ações de melhoria com o auxílio das matrizes QX e QM. Todas as tarefas realizadas no decorrer deste trabalho são devidamente documentadas e explicitadas, estando seccionadas de acordo com a área de produção respetiva. No final, é efetuada uma monitorização das ações de melhoria implementadas para a perceção sobre o impacto que as mesmas tiveram no controlo da problemática inicial.

No **Capítulo 8: Conclusões e Perspetivas Futuras** estão condensados os pontos fulcrais desta dissertação, com a realização de um balanço quanto ao desempenho das várias ações de melhoria concretizadas face aos objetivos inicialmente traçados. Algumas limitações encontradas no decorrer do trabalho e pontos de melhoria futura são, também, aqui referidos.

SOCIEDADE CENTRAL DE CERVEJAS E BEBIDAS, S.A.

A Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A., adiante designada pela sigla SCC, é uma Empresa dedicada à produção, enchimento, comercialização e distribuição de um vasto portefólio de bebidas que incluem cervejas, águas, sidras, *hard seltzer* e refrigerantes (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Com 90 anos de existência, as marcas que representa estão diariamente presentes na vida dos portugueses, procurando “Inspirar um mundo melhor criando momentos de verdadeira união”. Esta ambição faz parte de uma estratégia alinhada globalmente ao nível do Grupo Heineken, com a Empresa a assumir importantes compromissos sustentados por pilares sociais, ambientais e de responsabilidade. Estes contribuem ativamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, promovendo uma cultura de inclusão e diversidade com um ambiente de trabalho justo e seguro, caminhando para a neutralidade carbónica e preferência total por ingredientes provindos de fontes sustentáveis, e apelando ainda a um consumo moderado e responsável para um mundo mais saudável (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. b).

2.1 Enquadramento Histórico

Detentora de um valioso património histórico, a Sociedade Central de Cervejas e Bebidas foi fundada em 1934, pelo nome de Sociedade Central de Cervejas, como resultado da fusão das antigas Companhia Produtora de Malte e Cerveja Portugália, Companhia de Cervejas Estrela, Companhia de Cervejas Coimbra e Companhia da Fábrica de Cerveja Jansen.

Todas estas, retratadas na Figura 2.1, eram já importantes empresas que abasteciam o mercado cervejeiro português. Em 1935, também o património da Fábrica de Cervejas Trindade, incluindo a sua cervejeira, foi integrado no grupo (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).



Figura 2.1 Emblema alusivo ao nascimento da Sociedade Central de Cervejas, em 1934, como resultado da fusão de quatro companhias cervejeiras portuguesas. Retirado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

Esta união surgiu da necessidade de sinergia do mercado cervejeiro de Lisboa e da vontade de se criar uma marca de cerveja comum, objetivo esse que foi logo alcançado em 1940 com o lançamento da Sagres®. Só mais tarde, em 1970, o âmbito do negócio do Grupo foi expandido, com a aquisição da maioria do capital da Água de Luso® pertencente à Sociedade da Água de Luso, S.A. (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a; Termas Luso, s.d.).

Em 1965, a Sociedade Central de Cervejas decide avançar com o projeto de uma nova fábrica, que viria a ser concluído no ano de 1968 com a inauguração da Fábrica de Vialonga, ilustrada na Figura 2.2. Esta tornou-se, à data, a maior unidade fabril de produção de cerveja do país, a única com uma malteria, e uma das mais modernas da Europa (RTP Arquivos, 1968; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).



Figura 2.2 Inauguração da Fábrica de Vialonga, em 1968.
Retirado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

Porém, em 1975, por decisão do Movimento das Forças Armadas na sequência da revolução de 25 de Abril de 1974, a Empresa é nacionalizada (Decreto-Lei n.º 474/75, 1975; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Seguiu-se, portanto, um período de reestruturação do setor cervejeiro e, em 1977, a Sociedade Central de Cervejas, S.A.R.L. juntou-se à Cergal – Cervejas de Portugal, S.A.R.L., criada em 1972, formando-se a Centralcer – Central de Cervejas, E.P.. Paralelamente, deu-se a união da Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes, da Copeja e da Imperial, com a formação da Unicer – União Cervejeira E.P. (Decreto-Lei nº 531/77, 1977; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

Após 15 anos integrando o setor público, a Centralcer – Central de Cervejas foi privatizada em 1990, tornando-se a primeira operação de privatização absoluta realizada em Portugal (RTP Arquivos, 1990; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Seguiram-se igualmente vários processos de reestruturação e modernização, tendo sido a primeira cervejeira portuguesa a ser distinguida com o Certificado da Qualidade (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

Já no início dos anos 2000, parte da Centralcer – Central de Cervejas foi cedida à Scottish & Newcastle, um dos maiores grupos cervejeiros europeus. Em 2001, a Centralcer – Central de Cervejas, S.A. é incorporada com a Central Control S.G.P.S., S.A., e esta nova entidade passou a designar-se de Sociedade Central de Cervejas, S.A., com sede social nas instalações da Fábrica de Vialonga. No ano de 2003, a Scottish & Newcastle assumiu a totalidade do capital social da Sociedade Central de Cervejas, incluindo também a Sociedade

da Água de Luso (Jornal de Negócios, 2003; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). A partir de 2004, a Empresa passou a designar-se de Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. (SCC), nome que reflete melhor o âmbito da sua atividade que, além da cerveja, inclui outras tantas bebidas. No ano seguinte, foi lançada a sua nova imagem institucional, espelhada na Figura 2.3, que perdura até aos dias de hoje (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).



Figura 2.3 Atual imagem institucional da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. Retirado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

Em 2007, concretizou-se a aquisição do Grupo Scottish & Newcastle pela Heineken®, que assumiu o controlo da SCC (Jornal de Negócios, 2008; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Visando alargar a visibilidade das suas bebidas a nível nacional, o Grupo Heineken adquiriu, em 2013, a Sodicel, na qualidade de maior distribuidor para o canal HoReCa (acrónimo de Hotéis, Restaurantes e Cafés) da zona centro. Foi, assim, criada a Novadis, que se mantém atualmente como a empresa de comercialização e distribuição das bebidas do Grupo (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

Em 2017, a SCC entra no mercado das cervejas artesanais em Portugal com a aquisição da *start-up Hoppy House Brewing*, que tem relançado algumas das cervejas mais antigas do Grupo com adaptação das suas receitas originais (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Com vista a reforçar ainda mais o seu portefólio de bebidas, a SCC adquire, em 2019, a totalidade do capital da Mineraqua Portugal, Lda. que detém a concessão e a marca da água mineral natural gaseificada Água Castello® (Jornal de Negócios, 2019; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

A fim de harmonizar a estrutura organizacional, em 2021, as diversas empresas que constituem o universo da SCC, incluindo a própria, a Sociedade da Água de Luso, a *Hoppy House Brewing* e a Mineraqua, fundiram-se numa só, conhecida, até aos dias de hoje, como

Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a).

2.2 Marcas Associadas

A SCC tem vindo a acompanhar a evolução dos estilos de vida e hábitos alimentares dos consumidores mais exigentes, sendo detentora de um amplo portefólio de bebidas que contém cervejas, águas, sidras, *hard seltzer* e refrigerantes. Esta diversidade é representada por mais de 20 marcas onde se incluem algumas nacionais como a Sagres®, Bohemia®, Trindade®, Imperial®, Cergal®, Bandida do Pomar®, Água de Luso®, Água do Cruzeiro® ou Água Castello®, a par de marcas internacionais como a Heineken®, Guinness®, Desperados®, Lagunitas®, Sol®, Birra Moretti®, Royal Club®, Pure Piraña® e Strongbow® (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. c).

No panorama nacional, dados internos revelam que as marcas com volumes de produção, enchimento, comercialização e/ou distribuição mais significativos incluem, no setor das cervejas, a Sagres® e Heineken®, cujo conceito e dados históricos serão abordados adiante.

2.2.1 Sagres®

A cerveja Sagres® foi criada em 1940 com o objetivo de representar a Sociedade Central de Cervejas na Exposição do Mundo Português, uma importante iniciativa cultural (Sagres, s.d. a; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Foi apresentada numa clássica garrafa de vidro *longneck*, vulgo “pescoço comprido”, e com um rótulo em papel que exibia o escudo da Companhia de Cervejas Portugália. Em 1947, surge no mercado a garrafa bojuda, um modelo vulgarmente conhecido de “granada”, que se manteve no mercado durante 65 anos até ser novamente substituída, em 2003, pelo modelo clássico. Neste intervalo temporal, as garrafas de Sagres® sofreram vigorosas transformações, entre as quais se destacou o modelo com o rótulo pirogravado a branco lançado em 1955 (Sagres, s.d. b).

Em 1963, naquela que foi a sua primeira campanha publicitária, surgiu um dos slogans mais emblemáticos da Sagres® pela autoria do poeta Ary dos Santos “Cerveja Sagres: A sede que se deseja” (Sagres, s.d. a; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Mais tarde, em 1972, deu-se o lançamento de um novo formato mais pequeno que rapidamente assumiu junto dos portugueses o nome de “Mini”, com um lugar de destaque até aos dias de hoje. A portugalidade desta cerveja é revigorada quando, em 1993, se torna a primeira marca a

patrocinar a Seleção Nacional de Futebol, uma ligação que se mantém interrupta até à atualidade (Sagres, s.d. a).

Nas últimas décadas, a cerveja Sagres® foi largamente reconhecida pelo modelo clássico de rótulo oval com o fundo branco aberto a encarnado e com uma gargantilha de fundo encarnado revelando um escudo com as quinas. A partir de 2016, o tradicional rótulo deu lugar a um em forma de brasão e as cores da bandeira portuguesa foram enaltecidas, uma mudança que objetivou o reforço da portugalidade da marca (Sagres, s.d. b; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. a). Ademais, desde 1992 que continuam a ser exibidas no rótulo as medalhas do *Monde Selection* como reconhecimento mundial da qualidade e da satisfação que esta marca oferece ao consumidor (Sagres, s.d. b).

Apesar de todas estas mudanças de imagem visualizadas na Figura 2.4, a essência da cerveja Sagres® sempre se manteve intacta. Trata-se de uma cerveja *lager* do estilo *Pilsner* produzida a partir de ingredientes de origem natural incluindo malte e cereais não-maltados e uma rigorosa seleção de lúpulos. Esta seleção confere-lhe um corpo leve, de carácter ligeiramente amargo e com subtis notas aromáticas, espelhando o agrado do paladar dos consumidores portugueses (Sagres, s.d. c; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. c).



Figura 2.4 Evolução histórica das garrafas Sagres®. Adaptado de (Sagres, s.d. b).

Para além da cerveja clássica, a marca Sagres® comercializa outros produtos também bem conhecidos dos portugueses: a Sagres Preta®, caracterizada pelo seu sabor intenso com notas de malte torrado e espuma intensa e generosa; a Sagres Radler®, com a combinação de sumo de limão natural; e as Sagres Bohemia®, as mais requintadas e ideais para acompanhar as refeições. Atenta às últimas tendências de mercado e dando resposta à crescente adoção de estilos de vida mais saudáveis e equilibrados, a Sagres® vai mais longe com uma vasta linha de cervejas sem álcool, denominadas de Sagres 0.0.%®, e que incluem também a Sagres Preta

0.0.%® e a Sagres Radler 0.0.%® (Sagres, s.d. c; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. c). Toda esta emblemática família de cervejas Sagres® está exibida na Figura 2.5.



Figura 2.5 Portefólio atual de cervejas Sagres®.

2.2.2 Heineken®

A cerveja Heineken® foi a primeira cerveja *lager "premium"* da Holanda, criada em 1873 por um jovem empresário de nome Gerard Heineken. Na génese do sucesso desta cerveja do estilo *Pale Lager* está a produção com puro malte e com o elemento exclusivo denominado de levedura A, responsável pelo sabor rico e equilibrado e pelas subtis notas frutadas que adquire em particulares tanques de fermentação horizontais (Heineken, s.d. a).

A Heineken® é facilmente distinguida pela sua garrafa de cor verde e pela estrela vermelha de cinco pontas no rótulo, simbolizando as forças da natureza: terra, água, ar, fogo e um elemento mágico. Esta estrela era usada como símbolo das cervejarias na Idade Média e frequentemente pendurada sobre os barris de cerveja para conferir proteção (Heineken, s.d. b). Desde cedo que a qualidade da Heineken® foi reconhecida, primeiramente com a atribuição da Medalha *D'Or* na Exposição Marítima Internacional, em 1875, e com a entrega do prestigioso *Grand Prix* na Expo de Paris, em 1889 (Heineken, s.d. a). Muitos prémios viriam, mas esses dois marcos ainda adornam os rótulos dos produtos da marca (Heineken, s.d. a; Heineken, s.d. b), visíveis na Figura 2.6.

Focada em manter uma forte relação com o público em todos os momentos de adrenalina e felicidade, e com o lema "Nós não vendemos só cerveja, também vendemos diversão", a Heineken® torna-se, em 2005, patrocinadora oficial da *UEFA Champions League* e, em 2016 e 2018, da Fórmula 1 e Fórmula E, respetivamente (Heineken, s.d. c). Da mesma forma, e continuando a procurar satisfazer as necessidades e expectativas dos consumidores atuais, a

marca lança, em 2017, a Heineken 0.0.%® sem teor alcoólico e perfeita para diferentes momentos de consumo (Heineken, s.d. b; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. c).

Ao fim de 150 anos, um compromisso incessante com a pureza e a qualidade fez da Heineken® a cerveja mais internacional do mundo, marcando presença em 192 países (Heineken, s.d. a). Em Portugal, a Fábrica de Vialonga assegura a produção, enchimento, comercialização e distribuição desta marca no mercado nacional desde 2020.



Figura 2.6 Portefólio atual de cervejas Heineken®.

2.3 Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança

Desde sempre que a SCC assume uma visão consciente das suas responsabilidades em matéria de Qualidade, Segurança Alimentar, Ambiente, e Saúde e Segurança do Trabalho. Numa dinâmica empresarial de desenvolvimento e procurando a permanente satisfação de todas as partes interessadas, tem existido um esforço contínuo para a conquista de várias certificações nestes campos, quer a nível internacional quer a nível interno do próprio Grupo Heineken (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. d).

2.3.1 Normas ISO

A SCC foi a primeira cervejeira portuguesa a obter o Sistema da Qualidade certificado de acordo com a ISO 9001, em 1996, que reconhece o foco da Empresa na melhoria contínua e padronização dos processos elevando a qualidade dos seus produtos e da gestão. Mais tarde, em 2008, a Unidade de Vialonga conseguiu a certificação do seu Sistema de Gestão Ambiental pela ISO 14001, validando as suas competências na implementação de estratégias ambientais (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. d).

Os seus Sistemas de Gestão da Segurança Alimentar foram certificados, em 2011, pela ISO 22000, e aprimorados, em 2016, de acordo com a norma referencial FSSC 22000. Este esquema de certificação garante que a SCC é capaz de prevenir riscos ao longo de toda a cadeia, incluindo questões relacionadas com a *food defense* e *food fraud*, de modo a assegurar o bem-estar dos consumidores. Mais recentemente, em 2020, a SCC obteve a migração do Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho, de acordo com a norma OHSAS 18001 / NP 4397 adquirida em 2014, para a norma ISO 45001. Esta norma pode estar alinhada com outros referenciais normativos e visa proteger as suas forças de trabalho ao reduzir a ocorrência de riscos, contribuindo para o desenvolvimento contínuo das operações da Empresa (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, s.d. d).

2.3.2 *Laboratory Star System*

O *Laboratory Star System*, também designado de LSS, consta numa metodologia do Grupo Heineken no âmbito de Sistemas de Qualidade de Laboratório, sendo baseada na norma ISO 17025 que garante a fiabilidade, eficiência e melhoria contínua de todas as análises realizadas. Esta certificação, de carácter obrigatório nas Empresas do Grupo, foi conseguida pela Cervejeira de Vialonga em 2011, abrangendo o controlo de cerveja, mosto e malte nas vertentes físico-química, microbiológica e organolética. Deste modo, o LSS tornou-se numa nova forma de trabalhar nos laboratórios com indicadores de qualidade que avaliam a conformidade das características dos produtos, processos e materiais segundo as especificações inerentes a cada, assim como a adequação dessas especificações, garantindo a obtenção de resultados precisos e exatos.

2.3.3 *Gestão Produtiva Total*

A Gestão Produtiva Total, vulgarmente referida como TPM de *Total Productive Management*, é um programa originário do Japão que é tido como modelo de referência para a filosofia de melhoria contínua da SCC, integrando a gestão dos setores da Qualidade, Manutenção, Ambiente e Segurança. Implementada na Empresa desde 2004, esta metodologia está, aos dias de hoje, expandida a praticamente todas as secções da fábrica, sendo que nas áreas de Brassagem, Fermentação e Guarda, Filtração e Enchimento está em passos mais avançados de acordo com a prioridade estabelecida. Todo este projeto sofreu alterações profundas, em 2008, com a aquisição da SCC pelo Grupo Heineken, que praticava uma

metodologia TPM baseada em correntes mais modernas da filosofia japonesa. Como tal, a partir desse ano, têm sido feitos vários reajustes ao programa, que, a partir de 2021, se passou a designar de TPM *Next*.

De ano para ano, o lançamento de equipas de melhoria tem aumentado em todos os Pilares TPM, demonstrando a importância que é dada na procura e garantia dos vários objetivos desta metodologia que contribui ativamente para que a Empresa atinja os níveis pretendidos de qualidade e produtividade, elevando-a a patamares de excelência. Uma abordagem mais minuciosa sobre esta filosofia será apresentada no capítulo seguinte.

MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL E GESTÃO PRODUTIVA TOTAL

O mercado global, dada a sua competitividade, tende a exigir a implementação de metodologias de melhoria contínua nas mais diversas organizações, promovendo uma procura constante pelo aperfeiçoamento e otimização dos seus processos, produtos e/ou serviços (Ahuja, 2009; Okpala et al., 2018). Neste âmbito, a Manutenção Produtiva Total, mais conhecida pela sigla TPM de *Total Productive Maintenance*, é uma das mais reconhecidas estratégias de melhoria do desempenho produtivo industrial. Desenvolvida, em 1971, por Seiichi Nakajima ao cargo da empresa Nippon Denso Co. Ltd., um fabricante de componentes automobilísticos integrante do grupo Toyota, a TPM tem foco para a manutenção de máquinas e equipamentos, visando alcançar zero perdas, zero defeitos e zero acidentes (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Nakajima, 1988).

3.1 Evolução do Conceito de Manutenção

O campo da manutenção é essencial para o funcionamento de qualquer indústria automatizada pois assegura o cumprimento das condições padrão de operação das máquinas e equipamentos, contribuindo para uma maximização da capacidade de produção à custa de uma redução significativa de falhas e paragens não programadas. A importância deste domínio é acrescida pelo facto de as ações de manutenção ainda dependerem fortemente da

intervenção de mão-de-obra humana, ao contrário de muitos dos próprios processos industriais que são já automatizados (Nakajima, 1988).

Ao longo das últimas três décadas, o olhar sobre a esfera da manutenção sofreu profundas alterações (Ahuja, 2009; Nakajima, 1988). Antes dos anos 50, as funções de manutenção eram exclusivamente reativas, ou seja, uma dada máquina ou equipamento só era reparado após falhar ou mediante um declínio sério de produtividade. Esta ideologia de Manutenção de Rutura foi substituída, na década de 50, por uma Manutenção Preventiva (PM, de *Preventive Maintenance*), Preditiva (PdM, de *Predictive Maintenance*) e Corretiva (CM, de *Corrective Maintenance*). Aqui, passou-se a estabelecer ações de manutenção, com base em dados do próprio processo, para o acompanhamento periódico das condições das máquinas e equipamentos de modo a prevenir avarias ou a antecipar a reparação logo após ligeiros sinais de deterioração. Isto permitiu, não só, o aumento de vida útil das máquinas e equipamentos, mas também uma redução considerável dos tempos de paragens não programadas. Nos anos 60, surge o conceito de Prevenção da Manutenção (MP, de *Maintenance Prevention*), na qual as peças das máquinas e equipamentos eram estrategicamente projetadas de forma a não requererem uma grande manutenção, sendo fáceis de manusear e preservar (Ahuja, 2009). A combinação de todas estas estratégias de manutenção ao longo do ciclo de vida de uma máquina ou equipamento deu origem ao conceito de Manutenção Produtiva (PrM, de *Productive Maintenance*), que evoluiu, na década seguinte, para a conhecida Manutenção Produtiva Total (TPM, de *Total Productive Maintenance*) (Ahuja, 2009; Nakajima, 1988).

3.1.1 Manutenção Produtiva Total

Segundo o seu pioneiro Nakajima, a TPM é o resultado da combinação das práticas de PrM americanas, abrangendo todos os conceitos de PM, PdM e CM, com as noções japonesas de Gestão da Qualidade Total (TQM, de *Total Quality Management*) que envolvem a participação de todos os colaboradores (Nakajima, 1988). De facto, a TPM também pode ser vista como um Sistema de Gestão da Qualidade, embora mais abrangente uma vez que, além de todo o ciclo produtivo, tende a integrar muitos outros setores dentro da mesma organização (Dale, 2003).

Justamente por se tratar de um modelo de Gestão da Qualidade integrado, a sua notoriedade tem aumentado nos últimos anos entre as demais empresas. Porém, a grande popularidade da TPM deve-se, sobretudo, à forma como revolucionou a área da manutenção e, consequentemente, de otimização das máquinas e equipamentos. Aqui, a TPM introduziu a

ideia inovadora sobre a capacitação dos próprios operadores das máquinas e equipamentos para a realização de algumas das ações de manutenção de forma autónoma, ou seja, sem depender exclusivamente da equipa de manutenção. Esta prática permite o aumento da eficiência e desempenho das máquinas e equipamentos em virtude de um atempado diagnóstico e da redução de possíveis falhas, que evitam grandes tempos de paragens forçadas. Com isto, são também notórios o aumento de produtividade e a melhoria da qualidade do produto, levando ao aumento de vendas e, por conseguinte, dos lucros (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Dale, 2003; Nakajima, 1988)

Ademais, de um modo diferenciador, a TPM procura envolver todos os níveis organizacionais de uma empresa, desde os operadores à gestão de topo, por forma a maximizar a eficiência das instalações de produção (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Nakajima, 1988). Como tal, a implementação desta metodologia requer uma mudança de paradigma no seio das organizações, onde todos os colaboradores devem ser sensibilizados para os objetivos do programa. A possível resistência à mudança e falta de comprometimento dos trabalhadores pode ser, como em qualquer processo de transição, uma das adversidades na implementação da TPM. Outra dificuldade na sua concretização consiste na necessidade de alocação de diversos recursos, desde pessoas até largos investimentos, por um longo período temporal (Ahuja, 2009; Nakajima, 1988). De facto, a efetivação de todos os princípios da filosofia TPM não é plausível a curto-prazo, mas é de esperar a conquista contínua de grandes melhorias tanto a nível produtivo como de qualidade. A divulgação destes progressos tem um forte poder motivacional na confiança dos colaboradores, que sai reforçada ao verificarem a importância do seu trabalho para os objetivos da empresa (Nakajima, 1988).

Posto isto, a filosofia TPM tornou-se muito mais que apenas ações de manutenção, assumindo grandes preocupações com o desempenho geral das organizações. Assim, é comum observar-se a evolução deste conceito de Manutenção Produtiva Total para Gestão Produtiva Total, referido igualmente pela sigla TPM de *Total Productive Management* (Dale, 2003).

À semelhança da TPM, existem tantas outras filosofias de melhoria contínua, embora com algumas diferenças no seu foco. São de destacar a metodologia *Lean*, baseada na redução do tempo de processamento e do desperdício, e a *Six Sigma*, centrada na melhoria da qualidade e eliminação de defeitos (Kedar et al., 2008).

3.2 Implementação da Gestão Produtiva Total

A implementação da metodologia TPM pode ser realizada num setor específico ou em toda a organização. Todavia, qualquer que seja a área de aplicação, é necessário o cumprimento de várias etapas distintas suportadas por diversas ações, o que, por norma, leva pelo menos três anos a ser concluído com sucesso (Nakajima, 1988).

Além disso, para uma estratégia tão ambiciosa ser bem-sucedida, tem de estar fortemente fundamentada. No caso da TPM, as suas práticas gerais estão agrupadas em pilares que garantem uma correta implementação e a prorrogação do seu sucesso ao longo do tempo (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Nakajima, 1988). É comum existirem variações tanto no número como nos tópicos dos pilares da TPM entre as diferentes organizações que implementam esta filosofia, com tendência para serem adaptados ao seu setor e às suas necessidades. No entanto, de um modo geral, esta metodologia é bem alicerçada por oito pilares fundamentais, como mostra a Figura 3.1, detalhados em seguida:

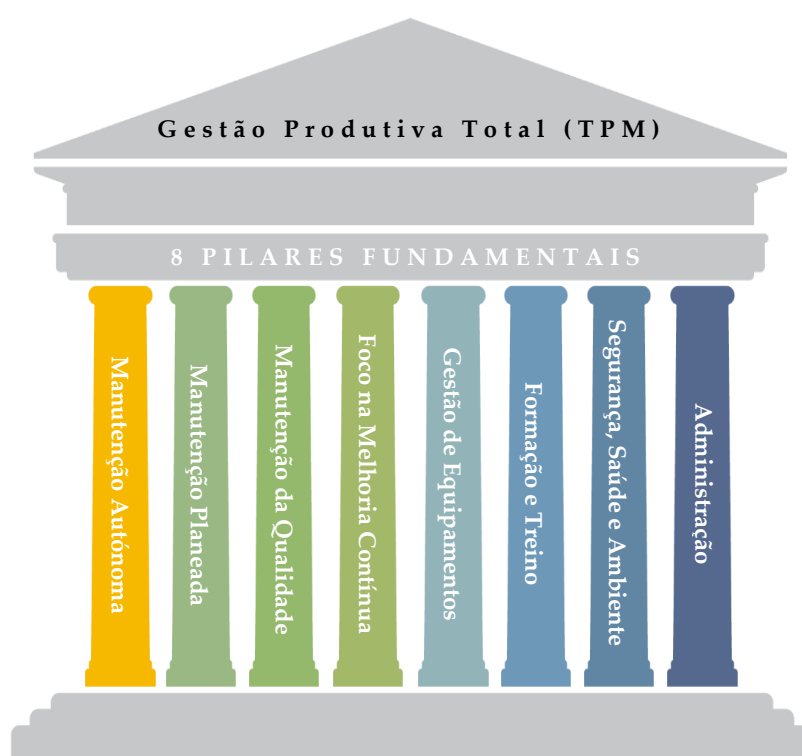


Figura 3.1 Pilares fundamentais da Gestão Produtiva Total (TPM).

1. Pilar de Manutenção Autónoma

Apesar de a TPM descrever uma relação sinérgica entre todas as funções de uma organização, esta ocorre principalmente entre os domínios de produção e manutenção (Ahuja, 2009). Neste âmbito, o conceito de Manutenção Autónoma visa a transição das funções de manutenção mais básicas exercidas pelo técnico da manutenção para o operador da produção (Agustiady & Cudney, 2018; Nakajima, 1988). Desta forma, a equipa de manutenção é libertada de operações de menor complexidade e pode focar-se em desenvolver melhorias nas máquinas e equipamentos, ficando a cargo dos operadores a responsabilidade de conservação dos mesmos através de rotinas de limpeza, inspeção, lubrificação e aperto (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009). Estas práticas, designadas de manutenção de primeira linha e habitualmente compiladas num plano de *Clean–Inspect–Lubricate–Tighten*, vulgo CILT, contribuem para a expansão do conhecimento dos operadores sobre as máquinas e equipamentos com os quais lidam diariamente, permitindo um diagnóstico de possíveis falhas atempadamente e a execução imediata de breves ações de reparo (Agustiady & Cudney, 2018).

2. Pilar de Manutenção Planeada

O conceito de Manutenção Planeada compreende a adoção de uma postura proativa, em detrimento de uma postura unicamente reativa. Isto é, dá-se o desenvolvimento de um plano de manutenção das máquinas e equipamentos por forma a evitar a ocorrência de falhas ou acidentes e prevenir o aparecimento de produtos defeituosos (Agustiady & Cudney, 2018; Nakajima, 1988). Estas ações de manutenção devem ser devidamente planeadas para períodos fora da programação de operações de produção, permitindo reduzir o tempo de inatividade não planeado (Agustiady & Cudney, 2018).

3. Pilar de Manutenção da Qualidade

A Manutenção da Qualidade tem como objetivo garantir a satisfação do cliente, tanto interno quanto externo, por meio da identificação de defeitos e da implementação de técnicas preventivas para evitar a sua ocorrência nos processos de produção. Como tal, a implementação deste pilar passa pelo entendimento de quais os componentes e parâmetros das máquinas e equipamentos que afetam a qualidade do produto, eliminando os problemas que lhes estejam associados (Agustiady & Cudney, 2018; Nakajima, 1988). De facto, assegurar a qualidade de um processo, produto ou serviço é uma etapa essencial na determinação da

posição da empresa no mercado pois influencia fortemente a sua competitividade (Wojciechowski, 2018).

4. Pilar de Foco na Melhoria Contínua

A base da Melhoria Contínua prende-se com a eliminação proativa de quaisquer tipos de perdas e de defeitos de qualidade, a fim de alcançar o máximo de eficiência das máquinas e equipamentos. Em paralelo, estas melhorias devem implicar, ainda, uma vantagem em termos económicos, para que delas resultem benefícios para a organização (Agustiady & Cudney, 2018; Okpala et al., 2018). A sua implementação, por norma, depende de equipas multidisciplinares, nas quais é de extrema importância que todos os elementos estejam alinhados com a visão do projeto (Agustiady & Cudney, 2018).

5. Pilar de Gestão de Equipamentos

O pilar sobre a Gestão de Equipamentos representa a importância do desenvolvimento de máquinas e equipamentos com o melhor desempenho possível e com o mínimo investimento. Isto requer a interação de diversas áreas, desde equipas de engenharia até aos próprios fabricantes, e envolve múltiplas atividades a começar pela projeção das máquinas e equipamentos aptos para o efeito, acompanhamento da sua instalação e monitorização contínua do seu funcionamento, assegurando uma correta assistência sempre que necessário (Agustiady & Cudney, 2018; Okpala et al., 2018). Com isto, a existência de técnicos de gestão e acompanhamento de projetos torna-se fulcral para a garantia de sucesso das organizações.

6. Pilar de Formação e Treino

O pilar de Formação e Treino é um dos mais importantes na implementação da TPM pois o seu sucesso depende ativamente da sensibilização de todos os colaboradores para as finalidades do projeto, incluindo a gestão de topo, operadores e técnicos de manutenção (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Nakajima, 1988). Além disso, é crucial que os operadores sejam capacitados com diversos conhecimentos para que possam trabalhar de forma autónoma de acordo com o argumento do pilar de Manutenção Autónoma (Agustiady & Cudney, 2018).

7. Pilar de Segurança, Saúde e Ambiente

A preocupação com a Segurança, Saúde e Ambiente visa, especificamente, a meta de um local de trabalho seguro e livre de acidentes, sempre tendo em consideração a temática da sustentabilidade. Isto é alcançado com a padronização dos métodos de trabalho e o estabelecimento de regras, que colaboram na eliminação de potenciais riscos de segurança e ameaças à saúde (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009).

8. Pilar da Administração

Este pilar mostra que os benefícios da TPM podem e devem ser expandidos para além das máquinas, equipamentos e processos produtivos, sendo aqui aplicados a funções administrativas. De facto, também as atividades administrativas possuem um impacto significativo no processo de produção, tendo a principal responsabilidade de disponibilizar todos os recursos necessários à sua execução. Como tal, é altamente recomendável manter a sua constante eficiência (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Okpala et al., 2018).

3.2.1 Ferramentas Auxiliares

A implementação e gestão dos oito pilares fundamentais da TPM tem o suporte de diversas outras ferramentas e metodologias, todas com o foco na melhoria contínua (Okpala et al., 2018). As de maior destaque são seguidamente abordadas em detalhe.

3.2.1.1 Indicadores-Chave de Desempenho

Um indicador-chave de desempenho (KPI, de *Key Performance Indicator*) permite quantificar e avaliar o nível de desempenho de determinados processos-chave predefinidos pela organização. De facto, cabe a cada empresa decidir quais os KPIs que melhor se alinham com os objetivos traçados, sendo que estes devem ajudar a identificar problemas e oportunidades, bem como auxiliar na tomada de decisões estratégicas. Assim, quando aplicados de uma forma eficaz, atuam como uma ferramenta de direcionamento para a melhoria contínua dos seus resultados (Ahuja, 2009).

Geralmente, a avaliação do sucesso da implementação de medidas TPM é feita com recurso a um indicador denominado Eficiência Geral do Equipamento (OEE, de *Overall Equipment Efficiency*). Este permite medir a produtividade e eficiência de um processo e/ou equipamento com base na sua disponibilidade, desempenho e qualidade do produto final,

considerando a Equação 3.1 (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009; Nakajima, 1988; Okpala et al., 2018).

$$OEE (\%) = Disponibilidade \cdot Desempenho \cdot Qualidade$$

Equação 3.1 Eficiência Geral do Equipamento (OEE), expressa em %.

A primeira variável, designada de Disponibilidade, demonstra o tempo que a máquina ou equipamento está em funcionamento a criar valor. É calculada pela Equação 3.2 considerando o quociente entre o tempo de produção real, que leva em conta o tempo planeado e o tempo de paragem, e o tempo de produção planeado, sendo expressa em % (Ahuja, 2009; Okpala et al., 2018):

$$Disponibilidade(\%) = \frac{\text{Tempo de Produção Planeado} - \text{Tempo de Paragem}}{\text{Tempo de Produção Planeado}} \cdot 100$$

Equação 3.2 Disponibilidade, expressa em %.

Em segundo, o Desempenho compara o tempo de produção real necessário para a fabricação de uma certa quantidade de produto com o seu tempo de produção ideal. Esta última variável é considerada na forma de tempo de ciclo, ou seja, o tempo necessário para a execução de apenas uma unidade. Este cálculo, expresso igualmente em %, é dado pela Equação 3.3 que considera o produto entre o tempo de ciclo teórico e a quantidade produzida, sendo este valor posteriormente dividido pelo tempo total de produção (Ahuja, 2009; Okpala et al., 2018):

$$Desempenho (\%) = \frac{\text{Tempo de Ciclo Teórico} \cdot \text{Quantidade Produzida}}{\text{Tempo Total de Produção}} \cdot 100$$

Equação 3.3 Desempenho, expresso em %.

Por último, a Qualidade tem em conta a quantidade de produto dentro dos parâmetros de especificação em relação à quantidade total produzida. É calculada pela Equação 3.4 com

base no quociente entre a quantidade produzida sem defeito e a quantidade total produzida, sendo expressa em % (Ahuja, 2009; Okpala et al., 2018):

$$Qualidade (\%) = \frac{Quantidade\ Produzida - Quantidade\ com\ Defeito}{Quantidade\ Produzida} \cdot 100$$

Equação 3.4 Qualidade, expressa em %.

Alguns autores avançam que uma correta implementação da TPM exige uma Disponibilidade superior a 90%, um Desempenho superior a 95% e uma Qualidade superior a 99%, o que se traduz num OEE superior a 85% (Ahuja, 2009; Nakajima, 1988).

3.2.1.2 *Kaizen*

O conceito *Kaizen* tem origem japonesa e significa “mudança para melhor”, em virtude da junção dos ideogramas *Kai*, que designa “mudança”, e *Zen*, que representa “bom”. Assim, trata-se de mais uma cultura que promove a melhoria contínua em busca da eficiência e qualidade máxima de qualquer processo. Como pressuposto, defende igualmente o envolvimento de toda a organização e acredita que as mudanças devem ser graduais, desprezando a necessidade de investimentos em larga escala (Dale, 2003; Okpala et al., 2018). A metodologia TPM aproveita estes princípios e incentiva à criação de equipas *Kaizen*, de núcleo multidisciplinar, com vista à resolução de diversos problemas (Ahuja, 2009).

3.2.1.3 Sistema 5S

O sistema 5S tem como objetivo estimular as pessoas para um ambiente de organização, limpeza, higiene e disciplina, alguns dos fatores essenciais para se atingir uma elevada produtividade e qualidade no local de trabalho. O nome 5S é alusivo a um conjunto de cinco palavras japonesas iniciadas pela letra “S” que indicam os princípios base a seguir (Dale, 2003; Okpala et al., 2018):

- *Seiri*, ou Utilização, que consiste em selecionar e remover da área de trabalho tudo o que não tenha utilidade;
- *Seiton*, ou Organização, que passa pela organização do material necessário ao trabalho de forma a facilitar a sua localização quando necessária;

- *Seiso*, ou Limpeza, que passa por arrumar e limpar o espaço de trabalho;
- *Seiketsu*, ou Padronização, que passa por criar uma norma de limpeza e organização a ser cumprida;
- *Shitsuke*, ou Disciplina, que passa por manter e elevar continuamente as normas criadas pelo passo anterior.

Estas práticas são, sem dúvida, a principal fundação do TPM, devendo ser sistematicamente aplicadas pois, como referido, promovem o aperfeiçoamento do ambiente de trabalho e uma melhoria da produtividade e qualidade. Deste modo, contribuem diretamente para o alcance da meta de zero perdas, zero defeitos e zero acidentes (Agustiady & Cudney, 2018; Okpala et al., 2018).

3.2.1.4 Ciclos Planear–Executar–Verificar–Agir e Padronizar–Executar–Verificar–Agir

O modelo de gestão Planear–Executar–Verificar–Agir, vulgarmente referido como PDCA de *Plan–Do–Check–Act*, é uma ferramenta muito importante na implementação da filosofia TPM e na evolução e melhoramento dos processos instaurados, visto que auxilia na compreensão dos conceitos de manutenção autónoma. Este sistema compreende o seguimento de quatro etapas cíclicas descritas na sua própria designação (Dale, 2003):

- *Plan*, ou Planeamento, onde devem ser descritos os objetivos e a metodologia a seguir para os alcançar com o menor custo e ocorrência de problemas;
- *Do*, ou Execução, que consiste na execução dos planos traçados para cumprimento dos objetivos iniciais;
- *Check*, ou Verificação, que implica o controlo e a examinação de forma persistente das ações já executadas de modo a serem identificados possíveis problemas pela comparação dos resultados com os objetivos especificados;
- *Act*, ou Ação, que simboliza a tomada de medidas de melhoria do desempenho do processo de acordo com a avaliação anterior, por forma a corrigir eventuais falhas.

Quando o ciclo PDCA é completado de forma satisfatória, isto é, os objetivos traçados inicialmente são atingidos, dá-se início a um novo ciclo. Neste, a primeira etapa de

planeamento é substituída por uma fase de padronização que visa fixar os processos e procedimentos encontrados por forma a se conseguir a consistência das operações e produtos e uma redução dos desvios inicialmente apontados. Este novo ciclo é designado de SDCA, com a substituição do P, de *Plan* ou Planeamento, por S, de *Standardize* ou Padronização (Duret & Pillet, 2009).

3.2.1.5 Análise das Causas–Raiz da Falha

Uma análise das Causas-Raiz da Falha (RCFA, de *Root Cause and Failure Analysis*) é uma ferramenta que, como o nome sugere, procura a causa-raiz de um problema de modo a planejar uma solução e evitar a ocorrência de falhas futuras. De facto, compreender quais os fatores contribuintes ou causas de uma falha do sistema pode ajudar a desenvolver ações que sustentem as correções (Duret & Pillet, 2009; Okpala et al., 2018). Comumente, este trabalho é auxiliado pela elaboração de uma Análise de 5 Porquês, que consiste noutra ferramenta de melhoria contínua que auxilia a chegar rapidamente à raiz de um problema. A estratégia dos 5 Porquês envolve olhar para qualquer problema e aprofundar possíveis causas através das respostas dadas aos “porquês” questionados. Quando a origem do problema é identificada, são elaboradas e postas em prática medidas de correção ou prevenção do mesmo (Duret & Pillet, 2009).

3.2.1.6 Plano de Limpar–Inspeccionar–Lubrificar–Apertar

O plano de Limpar–Inspeccionar–Lubrificar–Apertar, mais conhecido como CILT de *Clean–Inspect–Lubricate–Tighten*, é um método ligado à gestão autónoma que engloba a aplicação de pequenas ações de manutenção preventiva exercidas pelos operadores às máquinas e equipamentos de um processo produtivo. Esta estratégia envolve as quatro principais ações indicadas na sua designação:

- *Clean*, ou Limpar, que implica a remoção da sujidade de uma determinada peça da máquina ou equipamento de acordo com os padrões existentes;
- *Inspect*, ou Inspeccionar, que envolve a verificação constante das máquinas e equipamentos de forma a detetar possíveis irregularidades;
- *Lubricate*, ou Lubrificar, que apela à lubrificação das várias peças das máquinas e equipamentos para que se mantenham em pleno funcionamento;

- *Tighten*, ou Apertar, que chama ao aperto regular das peças das máquinas e equipamentos.

Estas ações devem estar incluídas numa rotina de inspeção frequente e vão promover uma maior familiarização dos operadores com as máquinas e equipamentos, pois, implica um contacto direto e regular com os mesmos. Desta forma, o cumprimento deste plano auxilia na implementação de rotinas de manutenção autónoma, um dos principais pilares da TPM (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009).

3.2.1.7 Lição de Um Ponto

A Lição de Um Ponto (LUP) é uma ferramenta eficiente para a formação e transmissão de conhecimentos entre os colaboradores. Consiste num texto curto, claro e objetivo, de preferência com uma forte componente visual para ajudar a uma melhor compreensão do procedimento operacional descrito. Por norma, são afixadas na respetiva zona de ação dentro da área de trabalho, o que facilita o desenvolvimento de certas atividades e assegura a segurança na sua execução (Okpala et al., 2018).

Em particular, as LUPs podem facilitar a aprendizagem de tarefas tipicamente associadas à manutenção por parte dos operadores de produção, favorecendo a união entre estas áreas como é fundamento da TPM (Agustiady & Cudney, 2018; Ahuja, 2009).

3.2.1.8 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto corresponde a um gráfico de frequências que ilustra a contribuição relativa de cada potencial causa para o problema em análise. Esta metodologia segue o Princípio de Pareto, também conhecido como a Regra 80/20, que prevê que 80% dos problemas identificados são causados por apenas 20% das causas possíveis de os provocar (Okpala et al., 2018).

Esta é uma ferramenta básica da qualidade habitualmente utilizada para estabelecer prioridades de atuação pois torna possível uma fácil visualização de quais as causas mais determinantes na ocorrência de um certo problema. Assim, auxilia na seleção de um número limitado de tarefas que produzem um efeito geral significativo, evitando o desperdício de esforços no combate a causas que não têm grande expressão na manifestação do problema (Duret & Pillet, 2009; Okpala et al., 2018).

3.2.1.9 Matrizes de Controlo de Qualidade

As matrizes de qualidade são ferramentas que têm como função a identificação de pontos prioritários de ação, tipicamente defeitos de qualidade, bem como a determinação das suas causas-raiz de modo a assegurar a garantia de excelência das condições operacionais. Na metodologia TPM, estas matrizes permitem relacionar os Pilares de Qualidade, Manutenção Planeada e Melhoria Contínua. Em geral, existem três tipos de matrizes, que se interligam entre si (Wojciechowski, 2018):

- **Matriz QA**, de *Quality Assurance* ou Garantia de Qualidade, com o principal objetivo de mapear os defeitos e determinar quais os pontos de qualidade prioritários de ação e cujas causas poderão estar relacionadas com o próprio processo produtivo. Vale notar que os resultados da matriz QA também podem ser exibidos na forma de Diagrama de Pareto;
- **Matriz QX**, de *Quality X* ou Qualidade X, que relaciona os defeitos de qualidade identificados pela Matriz QA com as características do processo produtivo. Para tal, correlaciona quatro variáveis de forma sequencial: (1) modo de defeito, (2) fases do processo, (3) componentes das máquinas e equipamentos, e (4) parâmetros e condições das máquinas e equipamentos. A elaboração desta matriz depende, em grande parte, da experiência de todos os membros da equipa de melhoria, em particular dos operadores do chão de fábrica. Em alguns casos, a comprovação da relação entre alguns defeitos e fatores do processo pode exigir a realização de ensaios devidamente delineados;
- **Matriz QM**, de *Quality Maintenance* ou Manutenção da Qualidade, que deriva da Matriz QX e é utilizada para garantir as condições básicas do processo que asseguram o desempenho da qualidade desejada. Aqui, são considerados e selecionados da Matriz QX os parâmetros e condições das máquinas e equipamentos mais críticos para o modo de defeito de qualidade em causa. O estado de cada um destes pontos críticos é determinado pela pontuação final resultante da soma das respostas a uma série de questões predefinidas, identificando as principais oportunidades de melhoria. Este é o ponto de partida para o processo de solução dos modos de defeito, garantindo a meta de zero defeitos.

A CERVEJA

A cerveja é uma bebida mundialmente apreciada por proporcionar momentos de satisfação, prazer e frescura quando consumida com moderação. Efetivamente, trata-se da terceira bebida mais popular do mundo, seguindo-se da água e do café, e a mais consumida no setor de bebidas alcoólicas (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021).

O estabelecimento de uma definição uníssona para a cerveja é algo complexo, fazendo com que existam várias conceções segundo diferentes perspetivas. Numa abordagem mais simplista, entende-se cerveja como uma bebida preparada a partir de água, cereais maltados, lúpulo e levedura, esta última responsável pela fermentação alcoólica dos açúcares fermentescíveis em álcool e CO₂. O malte utilizado é tipicamente de cevada, podendo ser combinado com outras fontes amiláceas ou açucaradas (Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011). No final, obtém-se uma bebida de propriedades ímpares que a tornam particularmente apetecível, destacando-se pela sua cor, limpidez, espuma, amargor, teor alcoólico e conteúdo em CO₂. Os vários equilíbrios entre estes parâmetros são importantes para a classificação dos diferentes tipos de cerveja, discutidos em maior detalhe na secção 4.2.1.4.1 Tipos de Cervejas, sendo a mais emblemática conhecida pela sua cor dourada, aspeto límpido e com uma coroa de espuma branca e persistente (Betancur et al., 2020; Doorn et al., 2019; Lerro et al., 2020; Oliver, 2011; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017; Strong & England, 2021). Todavia, esta aparência é bastante recente se considerarmos a história milenar desta bebida, que tem sofrido transformações consideráveis nos últimos séculos (Cabras & Higgins, 2016; Eßlinger & Narziss, 2005; Meussdoerffer, 2009; Rainhofer et al., 2022).

4.1 História da Cerveja

A história da evolução do fabrico de cerveja não é feita apenas de avanços científicos e tecnológicos, que em muito contribuíram para o controlo do processo cervejeiro que conhecemos nos dias de hoje, mas é também parte da história da própria humanidade (Cabras & Higgins, 2016; Meussdoerffer, 2009).

Os primeiros indícios históricos da produção de cerveja remontam a 6000 a.C. na Civilização Suméria, uma data que coincide com o início da sedentarização deste Povo e, portanto, com a necessidade do desenvolvimento de agricultura própria (Cabras & Higgins, 2016). Segundo consta, a primeira cerveja foi produzida a partir da fermentação espontânea de grãos de cereais embebidos em água por ação de leveduras selvagens, resultando numa bebida de cor dourada e aroma agradavelmente peculiar (Eßlinger & Narziss, 2005; Rainhofer et al., 2022). Perto desta região, a Civilização Babilónia desenvolveu empiricamente a arte da produção de cerveja, e instituiu, em 1750 a.C., o *Codex Hammurabi* contendo regulamentos sobre a qualidade da cerveja e atribuindo rígidas punições em caso de adulteração (Eßlinger & Narziss, 2005; Meussdoerffer, 2009). Dada a sua forte importância nas sociedades primitivas, esta bebida foi adquirindo popularidade e vários esforços foram feitos para otimizar a tecnologia cervejeira. Como tal, a história da evolução do fabrico de cerveja veio a abranger todas as épocas da história da humanidade (Meussdoerffer, 2009).

Na Antiguidade, e principalmente no Antigo Egipto, a cerveja ganhou um particular valor comercial, atuando como moeda de troca, e ainda uma relevância social, servindo como artigo de oferenda aos antepassados. Este conhecimento egípcio da cerveja herdou para os povos Grego e Romano, que o foram difundindo por todos os territórios que conquistavam (Cabras & Higgins, 2016; Eßlinger & Narziss, 2005; Ives, 2011; Meussdoerffer, 2009).

Na Idade Média, a expansão das práticas religiosas do Império Romano encorajou a construção de mosteiros em toda a Europa, com os monges a desempenharem um papel fulcral na arte cervejeira (Cabras & Higgins, 2016; Rainhofer et al., 2022). De facto, pelo século XII, os monges alemães foram responsáveis pelo surgimento da prática de adição do lúpulo ao invés da típica mistura de ervas vulgarmente conhecida como *grut*, uma matéria-prima essencial para o aroma característico e para o impulso da fermentação (Cabras & Higgins, 2016; Eßlinger & Narziss, 2005; Meussdoerffer, 2009; Rainhofer et al., 2022).

Pelas suas características particulares, entre elas a presença de álcool, CO₂ e baixo pH, a cerveja era muitas vezes reconhecida como a única fonte segura de hidratação em alternativa

à água, que se encontrava frequentemente poluída pelas fracas condições de saneamento. Ademais, o valor nutritivo da cerveja, derivado sobretudo dos cereais que lhe dão origem, desempenhou igualmente um papel importantíssimo em termos de saúde pública dada a elevada escassez de alimentos que caracterizou a Idade Média, o que lhe atribuiu o epíteto de “pão líquido” (Cabras & Higgins, 2016; Rainhofer et al., 2022). Este mérito contribuiu para que, em 1516, fosse implementada a Lei da Pureza Alemã, designada de *Reinheitsgebot*, que visava padronizar a produção de cerveja restringindo os ingredientes a água, malte de cevada e lúpulo (Eßlinger & Narziss, 2005; Meussdoerffer, 2009). A levedura foi também mais tarde incluída nesta lei, que é considerada a primeira da História em matéria de segurança dos alimentos (Eßlinger & Narziss, 2005).

Por volta dos séculos XVIII e XIX, no período da Idade Moderna e após a Revolução Industrial, deu-se uma profunda alteração no processo de produção de cerveja à conta de acentuados avanços científicos e tecnológicos (Cabras & Higgins, 2016; Meussdoerffer, 2009). Com isto, a possibilidade de manutenção e padronização da qualidade desta bebida permitiu o arranque das indústrias cervejeiras modernas a larga escala (Ives, 2011).

No período atual da Idade Contemporânea, os hábitos de produção e consumo de cerveja estão disseminados por todo o Mundo, o que tem contribuído para um crescimento exponencial desta indústria que se mantém em permanente evolução de forma a adaptar-se às necessidades e preferências dos consumidores. As sucessivas fusões e aquisições, que acontecem até aos dias de hoje, resultaram na concentração de várias cervejeiras nacionais em grandes grupos económicos detentores da maioria da produção de cerveja em todo o mundo (Cabras & Higgins, 2016).

4.1.1 Setor Cervejeiro no Mundo

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo, algo comprovado pelos dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OECD, de *Organisation for Economic Co-operation and Development*) que revelam que nos seus países membros, em média, 42% do álcool puro consumido é feito em forma de cerveja, 29% em forma de vinho e 23% em forma de bebidas espirituosas, sendo o restante percentual referente à categoria "outros" (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021). Os últimos dados referentes ao ano de 2021 apontam que, em todo o mundo, foram produzidos um total de 1,9 mil milhões de hL de cerveja e consumidos cerca de 1,86 mil milhões de hL. De entre todos os países, a China lidera tanto os volumes mundiais de produção como de

consumo de cerveja, com cerca de 360 milhões de hL produzidos e 380 milhões de hL consumidos, seguindo-se países como os Estados Unidos da América e Brasil (Statista, 2022). A nível europeu, os Estados-Membros da UE produziram cerca de 342 a 348 milhões de hL de cerveja, o que apenas equivale a 18% da produção mundial. Aqui, a Alemanha surge no topo como maior produtor de cerveja, seguindo-se a Polónia, Espanha e os Países Baixos. Só a produção destes quatro países ascende a mais de 50% da produção total de cerveja na UE (Eurostat, 2022; The Brewers of Europe, 2022). Já o consumo europeu está estimado em 300 milhões de hL de cerveja, onde, por volume, se voltam a destacar países como a Alemanha, Espanha e Polónia. No entanto, quando considerado o consumo em litros (L) *per capita*, são realçados países como a República Checa, Áustria, Polónia, Alemanha e Roménia (The Brewers of Europe, 2022).

Todos estes números mostram já uma ligeira recuperação das fortes quebras sentidas em 2020 por consequência das restrições impostas pela crise pandémica da COVID-19, que afetaram a economia de uma forma generalizada. Mais recentemente, também a Guerra Rússia-Ucrânia colocou em causa o fornecimento de matérias-primas com uma grave crise de segurança alimentar envolvendo o cultivo de cereais e fabrico de malte, não menosprezando o impacto no fornecimento de garrafas de vidro e latas de alumínio que também movem o setor cervejeiro (Duarte & Brinca, 2021; Europe Economics, 2022; The Brewers of Europe, 2022). Estas últimas condicionantes poderão vir a ter um impacto negativo nos dados do setor referentes ao ano de 2022, anulando qualquer recuperação expectável pelo alívio total das medidas de controlo à pandemia.

Ainda assim, é expectável que o mercado cervejeiro permaneça em crescimento nos próximos anos, admitindo-se que os valores de vendas aumentarão de 570 bilhões de euros, registados em 2022, para 754 bilhões de euros até ao ano de 2027 (Statista, 2023).

4.1.2 Setor Cervejeiro em Portugal

O panorama português nem sempre segue a tendência mundial do setor cervejeiro. De facto, Portugal tem uma forte tradição vinícola que faz com que, em média, 58% do álcool puro consumido seja feito em forma de vinho, em contraste com os 25% em forma de cerveja (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021). Estes valores estão expressos em “álcool puro consumido”, pelo que a quota de consumo da cerveja está subestimada devido ao seu baixo teor de álcool quando comparado com os demais tipos de bebidas alcoólicas. Na realidade, em 2021, foram consumidos cerca de 5 milhões de hL de

cerveja (The Brewers of Europe, 2022), face aos 4,6 milhões de hL de vinho (International Organisation of Vine and Wine, 2022).

A produção de cerveja em Portugal é um reflexo da situação económica nacional, como mostra a Figura 4.1. Nas últimas décadas, entre 2010 e 2015, assistiu-se a uma queda na produção desta bebida que coincidiu com o período de crise financeira e intervenção externa. Entre 2016 e 2017, os volumes de produção aumentaram, tendência que foi interrompida com uma queda no ano de 2018. Este deslize foi compensado no ano seguinte, onde se atingiu o maior volume de produção desde 2014, a rondar os 7,1 milhões de hL. Também o consumo de cerveja acompanhou todas as oscilações dos volumes de produção e, em 2019, atingiu igualmente o maior valor desde 2010 com o consumo interno de cerveja a chegar aos 5,5 milhões de hL (Duarte & Brinca, 2021; The Brewers of Europe, 2022).

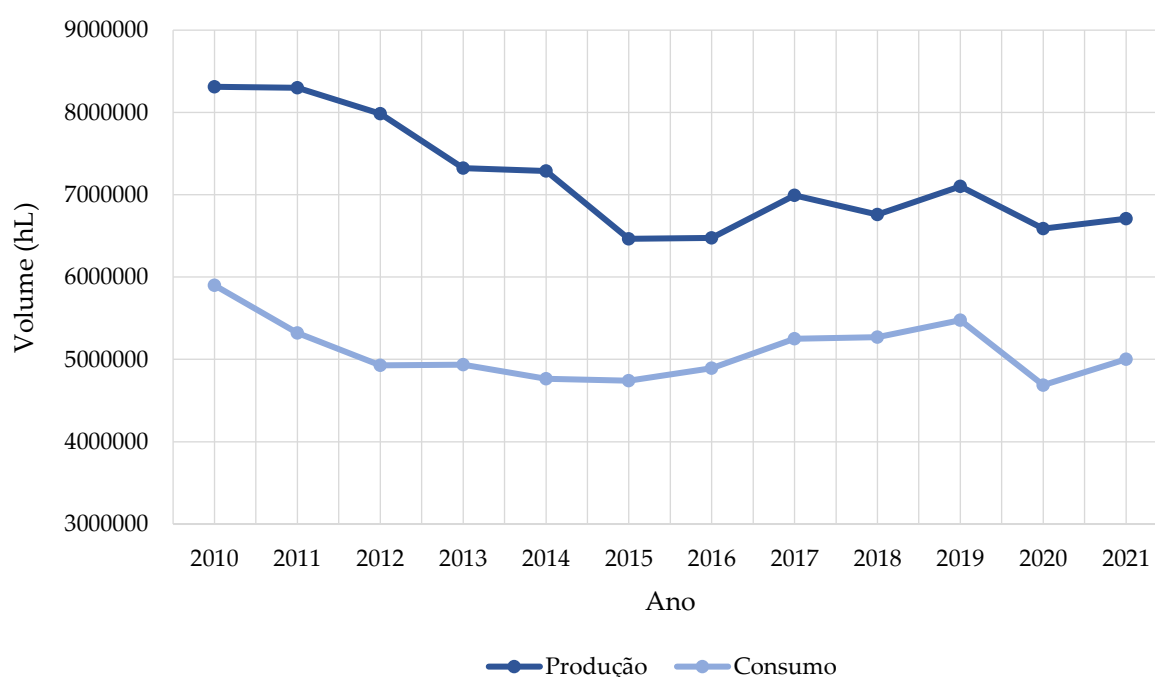


Figura 4.1 Evolução dos volumes, em hL, de produção e consumo de cerveja ao longo das últimas décadas em Portugal.

Em 2020, com a crise pandémica da COVID-19 e todas as medidas de controlo adotadas, registou-se novamente uma queda nos volumes de cerveja produzida e consumida, embora se tenha já assistido a uma ligeira recuperação em 2021. De facto, neste ano, Portugal produziu 6,7 milhões de hL de cerveja (1,9 a 2,0% do total da UE) e consumiu 5 milhões de hL (1,6 a 1,7% do total da UE), o que equivale a cerca de 48 L *per capita* (The Brewers of Europe,

2022). Este aumento na demanda do mercado deveu-se, essencialmente, ao alívio das políticas de combate à pandemia, destacando-se os programas de vacinação, a reabertura dos estabelecimentos do canal HoReCa e o regresso de eventos de média e grande escala diretamente ligados à venda de bebidas (Duarte & Brinca, 2021; Europe Economics, 2022).

A nível económico, dentro do setor nacional das bebidas, o setor cervejeiro é responsável por 18,2% da sua produção total, 30,5% do seu valor acrescentado e por 39,7% do seu rendimento do trabalho, tratando-se de um setor-chave para o crescimento da economia. Ademais, o seu valor não se cinge apenas ao criado pelas suas atividades primárias, visto que tem um importante envolvimento em áreas diversas como a cultura, educação, saúde e desporto (Duarte & Brinca, 2021).

4.2 Processo Cervejeiro

O processo cervejeiro pode ser entendido como a sequência de múltiplas etapas responsáveis por transformar certos ingredientes-chave na sublime bebida mundialmente apreciada. Aqui, tanto a escolha das matérias-primas como a execução das diversas etapas de produção vão ter um forte impacto na qualidade da cerveja final (Eßlinger & Narziss, 2005), e ambos os tópicos estão desenvolvidos nas secções subsequentes 4.2.1 Matérias-Primas e 4.2.2 Etapas de Produção.

4.2.1 Matérias-Primas

Os ingredientes-chave do processo cervejeiro incluem água, uma fonte principal de amido, lúpulo e levedura. Contudo, também é possível a adição de adjuntos como uma fonte secundária de amido e ainda a incorporação de auxiliares tecnológicos e aditivos alimentares de modo que seja possível fornecer ao consumidor uma excelente seleção de cervejas, ótimas para cada ocasião e com diferentes gamas de preço (Eßlinger & Narziss, 2005). Atualmente, as principais matérias-primas, assim como a possibilidade de incorporação de outros ingredientes, auxiliares e/ou aditivos, estão assentes em normas legais que são abordadas com mais detalhe na secção 4.3 Considerações Legais.

4.2.1.1 Água

A água, que constitui mais de 90% de um copo de cerveja, é um bem muito valorizado por todos os cervejeiros pois tem uma forte influência na qualidade final desta bebida. Os

principais parâmetros a ter em conta são a sua acidez e dureza, cujos valores ideais podem variar com o estilo e tipo de cerveja a ser produzida (Barth, 2013; Oliver, 2011).

Em relação à acidez, esta pode ser indicada pelo pH da água. Durante o fabrico de mosto, etapa na qual é incorporada esta matéria-prima, o pH resulta de uma ação conjunta dos diversos compostos azotados e ácidos orgânicos resultantes do malte e da solução tampão habitualmente adicionada (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Por norma, o pH do mosto situa-se entre 5,65 e 5,75, devendo ser corrigido para um valor próximo de 5,40 de forma a promover a atividade ótima das enzimas (Oliver, 2011).

Já a dureza, essencialmente determinada pela quantidade de sais de cálcio e magnésio, também tem uma influência decisiva nas características de um determinado tipo de cerveja. Dependendo da concentração destes iões, que pode ser mais baixa ou mais alta, a água é conhecida como mole ou dura, respetivamente (Barth, 2013). As famosas cervejas *lager* tipo *Pilsner*, por exemplo, são fabricadas com água relativamente mole de baixa mineralização, contrariamente às *British ale* que são fabricadas com água dura rica em sais (Barth, 2013; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Além de conferirem estas propriedades, o cálcio e magnésio atuam como cofatores de importantes enzimas do processo cervejeiro, e uma alta concentração destes iões pode ainda contribuir para uma acidificação do pH (Barth, 2013).

De notar que a água não é só usada no fabrico de cerveja propriamente dito, mas também no processo de maltagem, limpeza e arrefecimento (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Deste modo, é estimado que, para cada L de cerveja, se utilizem, em média, 6 L de água, sem contar com o processo de maltagem onde são utilizados entre 20 hL a 40 hL de água por cada tonelada de malte produzida (Kreisz, 2009; Taylor, 2018).

Numa nota paralela, vale relembrar que toda a água utilizada na indústria alimentar tem de apresentar qualidade igual ou superior àquela considerada adequada ao consumo humano, tendo de cumprir todos os parâmetros legalmente impostos pelo mais recente Decreto-Lei n.º 69/2023 relativo à qualidade da água destinada ao consumo humano (Decreto-Lei n.º 69/2023, 2023).

4.2.1.2 Cereais Maltados e Adjuntos

Os cereais são a base da produção de cerveja, pois, é a partir destes que se extrai o amido posteriormente convertido em açúcares simples e assimiláveis pela levedura (Cadenas et al., 2021). No entanto, como o amido presente nos grãos de cereais não é solúvel em água, torna-se necessária a ação de enzimas para auxiliar na sua quebra em moléculas de menores

dimensões. Assim, estes cereais são comumente sujeitos a um processo de maltagem, no qual ocorre uma germinação controlada e incompleta dos grãos dando origem ao malte. Este pode ser produzido a partir de diversos cereais, como trigo, centeio, aveia, sorgo, milho ou arroz, mas tipicamente é utilizado malte de cevada (Cadenas et al., 2021; Kreisz, 2009).

De facto, a utilização de cevada, com o nome científico de *Hordeum vulgare*, apresenta inúmeras vantagens pois é um cereal abundantemente cultivado em praticamente todas as partes do mundo, de fácil germinação, com um elevado teor de amido e um teor moderado de proteína, com uma elevada atividade amilolítica, e com uma casca capaz de produzir uma camada filtrante que auxilia na etapa de filtração do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009; Oliver, 2011).

Em maior detalhe, os grãos de cevada são constituídos pela casca, camada de aleurona, endosperma e o embrião, como esquematizado na Figura 4.2. Destas estruturas, é a composição do endosperma que está diretamente relacionada com a qualidade do malte pois é no interior das suas células que se encontra o amido, na forma de pequenos e grandes grânulos retidos numa matriz proteica. Esta última é a fonte de azoto necessária para desencadear a etapa de germinação do processo de maltagem, na qual o embrião se desenvolve e ocorre a produção e ativação de diversas enzimas responsáveis pela desintegração das proteínas e do amido de forma a serem utilizados como fonte de energia. Já a parede celular das células do endosperma é maioritariamente constituída por β -glucanos e alguns pentosanós, que também têm influência no processo cervejeiro (Oliver, 2011).

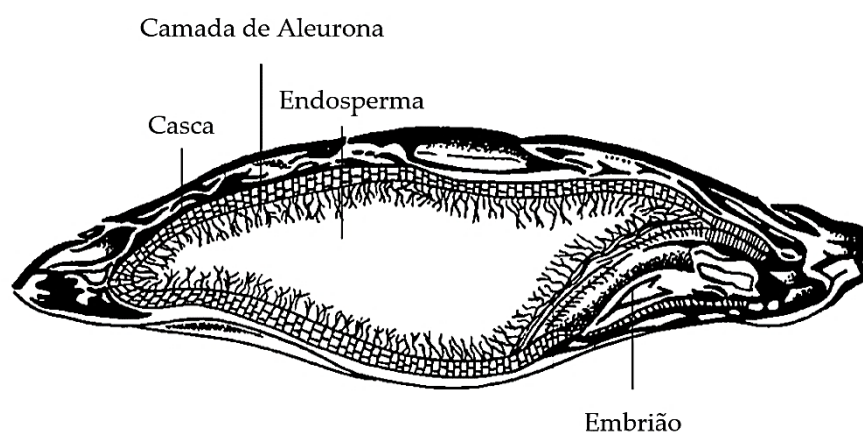


Figura 4.2 Morfologia de um grão de cevada em corte transversal, com indicação dos principais constituintes. Adaptado de (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017).

Ademais, a cevada pode ser dividida em cevada de duas fileiras ou de seis fileiras, e estas ainda podem ser subdivididas em variedades de verão e de inverno (Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011). Como nem todas são igualmente produtivas para maltagem e fabricação de cerveja, o Comité de Cevada e Malte, do qual a SCC faz parte, publica bianualmente um boletim com as melhores variedades, comprovadas agronomicamente, que satisfazem as especificações mínimas para a produção de malte com qualidade cervejeira (Comité de Cevada e Malte, 2022).

O malte, como principal matéria-prima da cerveja, tem um impacto direto no *flavour*, cor, turvação, espuma e estabilidade desta bebida, sendo importante a monitorização de diversos parâmetros físico-químicos, tais como:

- **Pureza varietal e Homogeneidade**, pois os grãos devem ser representativos de uma só variedade e todos do mesmo calibre para uma germinação uniforme e, consequentemente, um processamento mais económico (Davies, 2016);
- **Friabilidade**, que mostra o seu grau de modificação e a facilidade do grão em partir (Davies, 2016);
- **Poder diastásico**, que contabiliza a atividade das enzimas do malte na degradação do amido, incluindo processos de citólise, proteólise e amilólise (Davies, 2016; Kreisz, 2009);
- **Viscosidade**, dada pelo teor em β -glucanos e em pentosanos, abundantes na parede celular do endosperma, que podem contribuir para a formação de espuma e levar a dificuldades na filtração (Davies, 2016);
- **Azoto total, Azoto solúvel e Azoto aminado livre** (FAN, de *Free Amino Nitrogen*), onde o primeiro diz respeito à quantidade total de proteínas e aminoácidos presentes no malte, o segundo é avaliado pela eficiência da quebra das proteínas do malte pelas suas enzimas, e o terceiro é dado pelo teor de azoto aminado, essencialmente aminoácidos, disponível para ser usado pela levedura (Davies, 2016). De notar que o teor destes últimos compostos também tem um forte impacto na cor do malte e, consequentemente, da cerveja, dado que são um dos precursores para a formação de melanoidinas pelas reações de *Maillard* (Cadenas et al., 2021),

abordadas com maior pormenor na secção 5.3.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático;

- **Precursos de dimetilsulfito** (DMS, de *Dimethylsulfide*), sendo compostos com um baixo limite de perceção sensorial que conferem sabores e aromas indesejáveis, vulgarmente descritos como assemelhando-se a couves, pelo que podem impactar negativamente o *flavour* da cerveja (Davies, 2016; Kreisz, 2009);
- **Extrato**, que contabiliza a quantidade de açúcares fermentáveis no mosto, estimando, proporcionalmente, o teor de álcool a ser produzido (Davies, 2016);
- **pH**, que influência no pH da cerveja. Por norma, o pH varia entre 5,80 e 5,95 nos maltes de cevada claros, sendo inferior, entre 5,50 e 5,80, nos maltes escuros pela maior quantidade de produtos da reação de *Maillard* (Kreisz, 2009);
- **Cor**, sendo o principal fator determinante da cor da cerveja final, à parte de todas as reações térmicas e oxidativas que podem ocorrer ao longo do processo produtivo. Por norma, as receitas contemplam uma mistura de vários tipos de maltes que, dependendo sobretudo do tempo e temperatura de secagem ou torrefação, apresentam diferentes colorações e permitem o ajuste da cor desejada (Kreisz, 2009). São de destacar, numa ordem crescente de cores, o malte *Pilsener* ou *Pilsen*, *Vienna*, *Munich*, *Crystal* e *Carafa*. O primeiro apresenta uma cor que varia entre 2,5 e 3,5 EBC, contrastando com o último que pode apresentar cores além de 1000,0 EBC (Coghe et al., 2004; Kreisz, 2009). De forma geral, quanto mais escuro o malte, menor a atividade enzimática, menor o extrato, mais reduzido o nível de FAN e menor o pH (Kreisz, 2009).

De todos estes parâmetros, apenas os dois primeiros são diretamente analisados no malte cru, enquanto os restantes implicam a conversão desta matéria-prima numa espécie de mosto por um procedimento complementar, designado *Brassin*, que simula as condições a que o malte é sujeito na etapa de brassagem.

Outros cereais não maltados, como o milho, trigo, arroz ou sorgo, são normalmente utilizados de forma a constituir uma fonte adicional de amido e extrato fermentável mais barata, bem como refinar o sabor e aroma da cerveja e propiciar diferentes gamas de cores. No entanto, o uso deste tipo de cereais, designados por adjuntos, também apresenta algumas

desvantagens tais como a necessidade de uma caldeira própria para a brassagem, dado que precisam de temperaturas mais altas para a gelatinização do amido, e o facto de apresentarem uma baixa atividade enzimática. De facto, como estes cereais não são sujeitos a um processo de maltagem, pode ser necessária a adição de enzimas exógenas no fabrico de mosto para se atingir as especificações delineadas (Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011; Stewart, 2016). Além de cereais, podem também ser incorporados, com a mesma finalidade, adjuntos na forma líquida. Estes incluem, por exemplo, xaropes de sacarose ou glucose, que são normalmente adicionados na etapa de fervura do mosto por não necessitarem de conversão enzimática (Eßlinger & Narziss, 2005; Stewart, 2016).

4.2.1.3 Lúpulo

O lúpulo, em particular da espécie *Humulus lupulus*, é uma planta trepadeira abundante nas regiões de clima temperado e que integra, desde 1516, a Lei da Pureza Bavariana como um dos ingredientes essenciais à produção de cerveja (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler, 2009; Meussdoerffer, 2009). Apenas as plantas femininas interessam aos cervejeiros pois são as flores que contêm os grânulos de lupulina, uma substância viscosa de tonalidade amarelada que contêm variados compostos dos quais se destacam as resinas, óleos essenciais e polifenóis. A quantidade e a qualidade destes compostos interferem diretamente no amargor e estabilidade microbiológica da cerveja, podendo ainda definir diferentes estilos desta bebida (Krottenthaler, 2009; Roberts, 2016).

As resinas são os principais compostos responsáveis pelo amargor da cerveja, particularmente as resinas macias como os α -ácidos e β -ácidos. Destes, os α -ácidos, também conhecidos como humulonas, mostram o maior potencial de amargor. Inicialmente, estes compostos não são considerados amargos por si só dado que não são solúveis, mas durante a etapa de fervura do mosto são isomerizados em iso- α -ácidos que já apresentam uma elevada solubilidade no mosto e na cerveja, sendo os compostos realmente responsáveis pelo amargor (Roberts, 2016). Os β -ácidos, ou lupulonas, não contribuem tanto para o amargor pois não sofrem isomerização e tendem a permanecer insolúveis, podendo ser perdidos aquando da fase de fervura e de clarificação do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Roberts, 2016). Todavia, estes ácidos não isomerizados também desempenham um papel importante, nomeadamente enquanto agentes antimicrobianos contribuindo para o prolongamento do tempo de vida útil da cerveja (Krottenthaler, 2009; Roberts, 2016). Tanto os α -ácidos, β -ácidos e derivados podem ser oxidados e formar as chamadas resinas duras (Eßlinger & Narziss, 2005).

A complexa mistura de óleos essenciais, por sua vez, é responsável pelos aromas florais, cítricos e herbais da cerveja. Esta composição depende fortemente da variedade do lúpulo e da forma de como é processado, mas são de destacar terpenos como o linalol (aroma floral e picante), mirceno (aroma cítrico e pinheiro), geraniol (aroma floral) e o farneseno (aroma herbal, floral e amadeirado) (Krottenthaler, 2009). Alguns destes terpenos podem ser oxidados e dar origem a tantos outros compostos como álcoois, aldeídos, cetonas e ésteres, que contribuem igualmente para o *flavour* característico desta bebida (Roberts, 2016).

Os polifenóis, por fim, também contribuem para o amargor e *flavour* da cerveja, mas destacam-se principalmente pelas suas propriedades antioxidantes. De facto, os polifenóis de baixo peso molecular tendem a aumentar o poder redutor da cerveja, traduzindo-se em fortes melhorias na estabilidade do *flavour* da bebida (Krottenthaler, 2009; Roberts, 2016). Contrariamente, os polifenóis de alto peso molecular tendem a reagir com proteínas e são, em parte, responsáveis pela turvação da cerveja e por um certo amargor adstringente (Krottenthaler, 2009). Ademais, vale notar que estes polifenóis têm alguma contribuição na cor da cerveja ao longo do seu processo produtivo, uma temática abordada com maior detalhe na secção 5.3.2 Oxidação de Compostos Fenólicos.

Por norma, as flores de lúpulo, de forma cónica, são colhidas, secas e armazenadas sob condições controladas de temperatura, humidade e luminosidade, por forma a evitar a sua oxidação (Eßlinger & Narziss, 2005). No processo cervejeiro, estes cones são diretamente incluídos durante a fase de fervura do mosto, embora, atualmente, seja mais comum a incorporação na forma de *pellets* ou extrato. De facto, a utilização direta dos cones trazia alguns inconvenientes ao processo como a possibilidade de existência de corpos estranhos e resíduos de pesticidas, bem como a necessidade de remoção das partes insolúveis do mosto (Krottenthaler, 2009). Além do mais, a utilização destas últimas formas de lúpulo veio otimizar aspetos relacionados com o armazenamento e manuseamento destas matérias-primas e com o controlo da qualidade do mosto. Não obstante, o aspeto mais diferenciador prende-se com o facto de estarem disponíveis versões nas quais os α -ácidos são pré-isomerizados, permitindo que a sua adição ocorra numa fase mais tardia da ebulição do mosto ou mesmo após a fermentação (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler, 2009; Roberts, 2016). De notar que tanto a forma como o momento de incorporação do lúpulo no processo cervejeiro tem impacto no perfil organolético da cerveja (Eßlinger & Narziss, 2005).

4.2.1.4 Levedura

A levedura é um organismo eucariota e unicelular pertencente ao reino *Fungi*. Apresenta um metabolismo anaeróbio facultativo pelo que, na ausência de oxigénio, e no caso da levedura utilizada na produção de cerveja, é responsável pela fermentação alcoólica dos açúcares fermentescíveis em álcool e CO₂. Além destes, são produzidos outros tantos metabolitos que conferem *flavours* particulares à cerveja, agradáveis ou não, o que faz com que a estirpe de levedura seja muitas vezes considerada o ingrediente secreto no fabrico desta bebida (Tenge, 2009).

No processo cervejeiro, a fonte de nutrientes para a levedura é o mosto, sendo rico em açúcares como glucose, frutose, sacarose, maltose, maltotriose e dextrinas, dos quais apenas as últimas não conseguem ser assimiladas por este microrganismo (Eßlinger & Narziss, 2005; Tenge, 2009). Além destas fontes de carbono, o mosto contém importantes fontes de azoto para o metabolismo da levedura, tipicamente na forma de FAN tais como aminoácidos e pequenos péptidos (Russell, 2016; Tenge, 2009). Em menores quantidades, mas de igual importância, é o seu conteúdo em minerais e vitaminas, bem como em alguns fatores de crescimento. Os únicos componentes mais críticos tendem a ser o zinco e, por vezes, a biotina, o que justifica a eventual necessidade de suplementação do mosto com estes compostos (Tenge, 2009). À parte da nutrição, a levedura necessita ainda de oxigénio para a síntese de esteróis e ácidos gordos insaturados essenciais à integridade da sua membrana celular, o que é assegurado por um arejamento controlado do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Russell, 2016; Tenge, 2009).

Estes seres vivos microscópicos foram primeiramente observados, em 1680, por Antonie van Leeuwenhoek, mas apenas em 1876 foram identificados, por Louis Pasteur, como o agente responsável pela fermentação alcoólica da cerveja, contrariando a ideia da época de que a fermentação era um processo espontâneo. Mais tarde, em 1883, Hansen cultivou as primeiras culturas puras de levedura para o uso cervejeiro, algo imprescindível nos dias de hoje para o controlo do processo industrial de produção de cerveja (Tenge, 2009).

De forma geral, as leveduras utilizadas na indústria cervejeira pertencem ao género *Saccharomyces*, sendo que a espécie pode variar de acordo com o tipo de cerveja pretendida (Eßlinger & Narziss, 2005; Tenge, 2009). Tradicionalmente, as leveduras utilizadas neste processo podem ser divididas em duas categorias: leveduras de alta fermentação e leveduras de baixa fermentação, distinguindo-se entre si pela capacidade diferencial de fermentação de açúcares e de formação de subprodutos, nas temperaturas ideais de fermentação, e na habilidade de floculação ou sedimentação (Tenge, 2009). As leveduras de alta fermentação são

geralmente da espécie *S. cerevisiae* e adquirem esta designação pois, no final da fermentação, tendem a elevar-se à superfície formando uma película flutuante de biomassa (Eßlinger & Narziss, 2005; Tenge, 2009). Contrariamente, as leveduras de baixa fermentação, tipicamente *S. pastorianus*, floculam no final da fermentação e formam uma fase sedimentada de biomassa. A classificação destas leveduras é menos clara que a anterior pois, a nível evolutivo, resultam de uma hibridação entre a *S. cerevisiae* e outra espécie do mesmo género, suspeitando-se de *S. monocensis* ou *S. bayanus* (Tenge, 2009). Para conturbar mais este cenário, vale notar que as leveduras de baixa fermentação, na literatura, podem igualmente ser referenciadas como *S. carlsbergensis* ou *S. uvarum* (Eßlinger & Narziss, 2005; Tenge, 2009).

4.2.1.4.1 Tipos de Cervejas

De modo geral, as cervejas podem ser divididas em duas grandes famílias: *ales* e *lagers*. Esta classificação depende essencialmente da estirpe de levedura utilizada no processo fermentativo, podendo ser de alta ou baixa fermentação, e da temperatura ótima a que o mesmo decorre. Por um lado, as cervejas do tipo *ale* são produzidas com estirpes de *S. cerevisiae* a temperaturas mais elevadas, entre 18 °C e 25 °C, durante cerca de 7 a 10 dias. Por outro lado, as cervejas do tipo *lager* são habitualmente produzidas com recurso a estirpes de *S. pastorianus* e a temperaturas mais baixas, entre 7 °C e 15 °C, o que aumenta o tempo de fermentação para 4 a 12 semanas (Humia, et al., 2019; Tenge, 2009).

Estas diferenças são impactantes no produto final, sendo que as *lager* são caracterizadas por um sabor mais leve e fresco, com maior expressão das notas transmitidas pelos cereais maltados e não maltados e pelo lúpulo, contrariamente às *ale* que apresentam uma maior gama de aromas e sabores influenciados pela levedura, habitualmente com notas frutadas complexas ou a especiarias (Tenge, 2009). A simplicidade do estilo *lager* faz com que seja apontado como o favorito da maioria dos consumidores e esteja largamente difundido pelo mundo, contrariamente às *ale* que estão mais prevalentes nos países nórdicos como a Alemanha, Bélgica, Canadá e Reino Unido (Humia, et al., 2019; Meussdoerffer, 2009).

Além das diferenças de aroma e sabor transmitidas pelas diferentes leveduras e processos fermentativos, os mestres cervejeiros criam ainda um amplo espectro de cervejas por meio da escolha do tipo de malte e processo de maltagem, do uso de adjuntos, do teor de açúcar do mosto e da variedade e quantidade de lúpulo incorporado. Assim, intrinsecamente a estas duas famílias estão diversos estilos de cervejas, alguns com diferenças muito subtis entre si, que se categorizam pela sua origem, matérias-primas e método de produção. Estas

dessemelhanças são suficientes para produzir cervejas com diferentes propriedades sensoriais, entre elas o aroma, sabor, cor, limpidez, espuma, corpo, teor alcoólico e conteúdo em CO₂.

Dado ter sido no Reino Unido e nos Estados Unidos da América que se desenvolveu a definição dos estilos cervejeiros, a maioria tem ainda a sua designação em inglês. As cervejas do tipo *lager* e estilo *Pilsen*, *Pilsner* ou *Pilsener* são as mais consumidas em todo o mundo, destacando-se a sua cor clara, aroma e sabor suave maltado e lupulado, alta carbonatação e teor alcoólico médio de 5% (Oliver, 2011; Strong & England, 2021). Outros exemplos de cervejas do tipo *lager* são os estilos *Pale Lager*, *Amber Lager*, *Dark Lager* e *Bock*. Algumas cervejas do tipo *ale* incluem os estilos *Pale Ale*, *India Pale Ale*, *Amber Ale*, *Brown Ale*, *Stout*, *Porter*, e ainda todas as cervejas de trigo (Strong & England, 2021).

Outra família de cervejas, embora menos referenciada, são as cervejas tipo *lambic*. Estas resultam da fermentação espontânea por leveduras selvagens, tipicamente do género *Brettanomyces*, que pode resultar numa variedade de sabores estranhos à típica cerveja, mas que são valorizados como únicos (Strong & England, 2021; Tenge, 2009).

4.2.1.5 Auxiliares tecnológicos e Aditivos alimentares

A produção de cerveja segue um processo caracterizado como sendo tradicional e natural, não obrigando à utilização de auxiliares tecnológicos ou aditivos alimentares para a obtenção de um produto de excelência como acontece em outros géneros alimentícios. Todavia, a indústria cervejeira moderna tende a considerá-los para um maior controlo e padronização do processo e da qualidade do produto final, bem como redução de custos (Oliver, 2011). Neste sentido, a Tabela 4.1 reúne os principais compostos possíveis de serem utilizados no processo de produção de cerveja, bem como as suas respetivas funções e fase de incorporação no processo produtivo.

Pelo Regulamento (CE) n.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, um auxiliar tecnológico é qualquer substância que (1) "não seja consumida como género alimentício em si mesma"; (2) "seja intencionalmente utilizada na transformação das matérias-primas, dos géneros alimentícios ou dos seus ingredientes para atingir determinado objetivo tecnológico (...); e (3) "possa resultar na presença não intencional, mas tecnicamente inevitável, de resíduos da substância ou dos seus derivados no produto final, desde que (...) não apresentem qualquer risco sanitário nem produzam efeitos tecnológicos sobre o produto final". Na produção de cerveja são habitualmente incorporados alguns auxiliares tecnológicos dos quais se destacam enzimas, agentes clarificantes e auxiliares de filtração (Oliver, 2011).

Tabela 4.1 Principais auxiliares tecnológicos e aditivos alimentares, e respectivas funções, utilizados na indústria cervejeira.

			FUNÇÃO	FASE DE INCORPORAÇÃO NO PROCESSO PRODUTIVO	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA
AUXILIAR TECNOLÓGICO	Enzimas	β -glucanase	Hidrolisa os β -glucanos, presentes nas paredes celulares das células do endosperma, permitindo uma melhor disponibilização do amido e contribuindo para um decréscimo da viscosidade e turvação do mosto. Condições ótimas de atuação a pH 4,5 – 5,0 e temperaturas de 40 °C a 50 °C	Caldas e/ou Empastagem	(Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009)
		α -amilase	Hidrolisa as ligações glicosídicas α -(1-4) internas do amido, decompondo-o em glucose, maltose, maltotriose e dextrinas. Condições ótimas de atuação a pH 5,6 – 5,8 e temperaturas de 70 °C a 75 °C	Caldas e/ou Empastagem	(Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009)
		β -amilase	Hidrolisa as ligações glicosídicas α -(1-4) das extremidades não redutoras do amido, decompondo-o em maltose. Condições ótimas de atuação a pH 5,0 – 5,2 e temperaturas de 60 °C a 65 °C	Caldas e/ou Empastagem	(Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009)
		Pululanase	Hidrolisa as ligações glicosídicas α -(1-6) do amido, decompondo-o em glucose, maltose, maltotriose e dextrinas. Condições ótimas de atuação a pH 5,4 – 5,6 e temperatura de 40 °C	Caldas e/ou Empastagem	(Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009; Stewart, 2016)
		Proteases e Peptidases	Hidrolisam as ligações peptídicas de proteínas e péptidos, contribuindo para a clarificação e diminuição da viscosidade do mosto, e o aumento da disponibilidade de FAN. Condições ótimas de atuação a pH ácido e temperatura de 45 °C a 50 °C	Caldas e/ou Empastagem; Antes ou Após Fermentação; ou Antes da Filtração da Cerveja.	(Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011)

Tabela 4.1 Principais auxiliares tecnológicos e aditivos alimentares, e respectivas funções, utilizados na indústria cervejeira (Continuação).

			FUNÇÃO	FASE DE INCORPORAÇÃO NO PROCESSO PRODUTIVO	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA
AUXILIAR TECNOLÓGICO	Agentes Clarificantes e Auxiliares de Filtração	<i>Kieselguhr</i>	Trata-se de uma rocha diatomácea moída altamente porosa capaz de reter partículas em suspensão causadoras de turvação na cerveja. É comumente utilizada para revestir as placas do filtro compondo uma camada filtrante altamente eficaz. Também pode ser utilizado em laboratório para remover a turvação de certas amostras e gerar resultados mais exatos	Filtração da Cerveja	(Eßlinger & Narziss, 2005; Lindemann, 2009)
		Polivinil-polipirrolidona (PVPP)	Versão polimerizada e insolúvel do polivinilpirrolidona (PVP) com uma alta afinidade para polifenóis. Estes são potenciais compostos causadores de turvação pela sua reação com proteínas, pelo que o PVPP irá contribuir positivamente para a estabilização química da cerveja. O PVPP é posteriormente separado da cerveja nos filtros de <i>kieselguhr</i>	Filtração da Cerveja	(Eßlinger & Narziss, 2005; Lindemann, 2009; Oliver, 2011)
		Sílica-Gel	Atua como um estabilizador da cerveja ao remover pequenas proteínas e péptidos que, pela sua reação com polifenóis, promovem a turvação. Também é separada da cerveja nos filtros de <i>kieselguhr</i>	Filtração da Cerveja	(Eßlinger & Narziss, 2005)

Tabela 4.1 Principais auxiliares tecnológicos e aditivos alimentares, e respectivas funções, utilizados na indústria cervejeira (Continuação).

			FUNÇÃO	FASE DE INCORPORAÇÃO NO PROCESSO PRODUTIVO	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA
ADITIVOS ALIMENTARES	Ácidos	Ácido Fosfórico	Ajuste de pH do mosto para otimização da atividade enzimática. Também influencia positivamente a clarificação do mosto e o <i>flavour</i> da cerveja final	Caldas, Empastagem, e/ou Fervura	(Eßlinger & Narziss, 2005)
		Ácido Sulfúrico			
	Sais	Cloreto de Cálcio	Ajuste de pH e dureza do mosto para otimização da atividade enzimática. Estes minerais também atuam como cofatores de certas enzimas e são essenciais ao metabolismo da levedura. O cloreto de cálcio, em particular, evita ainda problemas com a formação de oxalato de cálcio que cria turbidez	Caldas, Empastagem, e/ou Fervura	(Eßlinger & Narziss, 2005; Russell, 2016)
		Sulfato de Magnésio			
		Cloreto de Sódio	Intensificador de sabor	Caldas, Empastagem, e/ou Fervura	(Eßlinger & Narziss, 2005)
		Sulfato de Zinco	O ião zinco é essencial para o metabolismo da levedura	Caldas, Empastagem, e/ou Fervura	(Eßlinger & Narziss, 2005; Tenge, 2009)
	Corantes	Caramelos	Utilizados para a correção de cor da cerveja final, sem conferir sabores ou aromas particulares.	Após Filtração da Cerveja	(Oliver, 2011; Shellhammer & Bamforth, 2008)
		Extrato de Malte	Utilizado para a correção de cor da cerveja final, sem conferir sabores ou aromas particulares.	Após Filtração da Cerveja	(Shellhammer & Bamforth, 2008)

Já os aditivos alimentares são definidos, pelo mesmo Regulamento, como quaisquer substâncias (1) "não consumidas habitualmente como géneros alimentícios em si mesmas e habitualmente não utilizadas como ingredientes característicos dos géneros alimentícios"; (2) "com ou sem valor nutritivo"; e (3) "cuja adição intencional aos géneros alimentícios, com um objetivo tecnológico na fase de fabrico, transformação, preparação, tratamento, embalagem, transporte ou armazenagem, tenha por efeito, ou possa legitimamente considerar-se como tendo por efeito, que elas próprias ou os seus derivados se tornem direta ou indiretamente componentes desses géneros alimentícios". Na indústria cervejeira, destacam-se principalmente a categoria dos corantes, conservantes, antioxidantes, edulcorantes, estabilizantes, espessantes e emulsionantes (Regulamento n.º 1333/2008, 2008).

4.2.2 Etapas de Produção

O processo de produção de cerveja, que contempla imprescindivelmente as quatro primeiras matérias-primas mencionadas anteriormente na secção 4.2.1 Matérias-Primas, é constituído por um conjunto de sucessivas etapas realizadas a condições específicas e que têm uma grande influência ao nível do tipo e qualidade do produto final. De forma geral, o processo cervejeiro pode ser dividido em: maltagem, fabrico de mosto, fermentação, guarda e filtração. Posto isto, a cerveja é devidamente acondicionada num dos variados formatos disponíveis para chegar até ao consumidor final (Eßlinger & Narziss, 2005).

4.2.2.1 Maltagem

Na etapa primordial de maltagem ocorre a conversão dos cereais em malte através de um processo controlado, mas incompleto, de germinação dos grãos. Este passo é essencial pois o amido abundante no endosperma dos grãos de cereais está retido numa matriz proteica e não é solúvel em água, sendo necessário libertar este polissacárido e metabolizá-lo em açúcares mais simples que possam ser assimilados pela levedura na fase de fermentação. Esta conversão é possível através da ação de enzimas cuja produção é estimulada pela indução da germinação do grão (Cadenas et al., 2021; Eßlinger & Narziss, 2005; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Ademais, a etapa de maltagem contribui para a obtenção de algumas características importantes no malte, como o *flavour* e a cor, e ainda para a remoção de compostos aromáticos sulfurosos indesejáveis (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009).

Na indústria cervejeira, a cevada é o principal cereal a ser maltado, e, como já referido na secção 4.2.1.2 Cereais Maltados e Adjuntos, deve conter algumas especificações para

assegurar uma boa qualidade do produto final (Comité de Cevada e Malte, 2022; Davies, 2016; Kreisz, 2009). Além disso, este cereal tem de ser devidamente limpo, com recurso a eletroímãs para a remoção de metais e a tararas para a remoção de impurezas, cascas e pó, de forma a certificar a isenção de perigos físicos. Posteriormente, os grãos devem ser calibrados para garantir uma homogeneidade nas etapas de maltagem, que se podem dividir em: molha, germinação, secagem e desradiculação (Kreisz, 2009; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Antes destas etapas, é ainda crucial que os vários lotes de cevada sejam analisados no laboratório de micromaltagem onde, em pequena escala, se mimetiza o processo de maltagem do grão a fim de se poder prever as condições necessárias para uma eficiente obtenção do malte pretendido (Kreisz, 2009).

4.2.2.1.1 Molha

A fase de molha consiste, como o nome indica, no fornecimento de água ao grão para que o mesmo hidrate e inicie a germinação. Esta fase ocorre em grandes tinas de molha e pode ser caracterizada por uma molha única, onde o grão é submerso em água que é arejada periodicamente com ar comprimido, ou por uma molha dupla, na qual ocorre uma alternância entre períodos de imersão e períodos de seca (Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011). Esta última apresenta algumas vantagens pois assegura uma melhor lavagem do grão e contraria a proliferação microbiana, ao passo que a anterior encurta o tempo do processo e o consumo de água (Oliver, 2011). Todavia, é importante assegurar que, de ambas as formas, ocorra a exposição do grão a períodos aeróbios para que o mesmo possa respirar e iniciar a sua atividade germinativa, na qual são libertadas hormonas que se difundem para a camada de aleurona e estimulam a produção de enzimas hidrolíticas (Eßlinger & Narziss, 2005).

Esta fase ocorre num período de até 48 horas e o grão atinge uma humidade final próxima dos 38%, sendo que ainda irá ganhar humidade pelos vaporizadores na fase seguinte de germinação (Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011). De notar que a água utilizada nesta etapa não tem de cumprir muitos requisitos, somente ser potável e cumprir o intervalo de temperaturas entre os 15 °C e 20 °C (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009).

4.2.2.1.2 Germinação

Após a molha, o grão é transferido para caixas de germinação para que, dadas as condições ideais, se inicie este processo fisiológico no qual o embrião, através do consumo de nutrientes do endosperma, desenvolve uma radícula e plúmula que darão origem a uma nova

planta. No processo cervejeiro, esta etapa é controlada por forma que não se inicie o desenvolvimento propriamente dito da planta, mas que ocorra a síntese das enzimas responsáveis pelo consumo do endosperma amiláceo (Eßlinger & Narziss, 2005). De facto, além das manifestações físicas e visíveis da germinação com o aparecimento da radícula e plúmula no grão, ocorrem mudanças químicas no endosperma com a ativação da síntese de diversas enzimas hidrolíticas. São de destacar enzimas como as β -glucanases, responsáveis pela digestão enzimática das paredes celulares do endosperma; proteases, que degradam a matriz proteica no endosperma; e α -amilases e β -amilases, que permitem a degradação do amido (Eßlinger & Narziss, 2005; Oliver, 2011).

Para tal, esta fase ocorre sob condições controladas de tempo, humidade e temperatura, assegurando que, durante aproximadamente 5 dias, o grão não perca humidade e que a temperatura ronde os 14 °C a 18 °C. É ainda necessário assegurar um constante volteio dos grãos para a uniformidade da germinação e oxigenação, favorecendo a respiração do grão e removendo o CO₂ que vai sendo libertado neste processo (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreis, 2009; Oliver, 2011).

4.2.2.1.3 Secagem

Finalmente, o malte verde, nome dado à cevada germinada, é sujeito a uma circulação de ar, durante cerca de 17 a 22 horas, com um gradiente crescente de temperaturas até serem atingidos aproximadamente 80 °C. Estas condições proporcionam ao malte que seja passível de ser corretamente armazenado e, de maior importância, fazem com que as transformações biológicas e químicas que se iniciaram durante a germinação sejam interrompidas (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreis, 2009). Em particular, dá-se o cessar da atividade enzimática e a diminuição da humidade, variando de 41% a 46% para 3,5% a 4,0% no malte claro e de 48% a 50% para 1,5% a 2,0% no malte escuro (Eßlinger & Narziss, 2005). Esta operação deve ser devidamente controlada por forma que o malte seco possua um poder enzimático apropriado para a produção de cerveja (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreis, 2009).

As temperaturas elevadas têm também um forte impacto na cor, sabor e aroma do malte, particularmente pela ocorrência de reações de *Maillard*, discutidas na secção 5.3.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático, sendo que estes atributos podem ainda ser intensificados numa posterior etapa opcional de torrefação (Eßlinger & Narziss, 2005; Coghe et al., 2004; Kreis, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008). De acordo com as diferentes

condições de secagem, podem ser produzidos diversos tipos de malte, mencionados na secção anterior 4.2.1.2 Cereais Maltados e Adjuntos.

4.2.2.1.4 Torrefação

A torra do malte ocorre em grandes tambores rotativos com base em malte verde ou malte após secagem. Dadas as altas temperaturas a que é submetido, que chegam a atingir os 220 °C, o malte torrado, também vulgarmente designado de malte carafa, é considerado enzimaticamente inativo e tem um menor rendimento de extrato e teor de FAN (Kreisz, 2009; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Assim, é usado principalmente para dar uma cor escura à cerveja, proporcionando, em paralelo, aromas de caramelo, café, nozes e, quando em grandes quantidades, podem proporcionar aromas a queimado e adicionar amargor e adstringência (Kreisz, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008). Estes atributos de qualidade surgem, essencialmente, pela ocorrência de reações de escurecimento não enzimático favorecidas a temperaturas elevadas (Coghe et al., 2004; Kreisz, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008), que são abordadas em mais pormenor na secção 5.3.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático.

4.2.2.1.5 Desradiculagem

Por fim, antes do malte integrar o processo cervejeiro propriamente dito, é necessário cortar a radícula e a plúmula que emergiram no grão aquando da sua germinação dado que conferem um sabor amargo e a sua cor esverdeada poderá ser indesejada. A separação é feita por fricção, com o malte percorrendo uma série de tambores rotativos que atuam como peneira (Kreisz, 2009).

4.2.2.2 Fabrico de Mosto ou Brassagem

Já nas instalações fabris, o fabrico de mosto, etapa também denominada de brassagem, pode ser dividido em várias fases: moagem do malte, mistura, empastagem, filtração do mosto, fervura do mosto, clarificação do mosto e arrefecimento do mosto. Este mosto, de um modo simplista, consta numa mistura açucarada, resultante da combinação de cereais maltados e não maltados com água, que será posteriormente fermentada pela levedura e convertida em cerveja (Krottenthaler et al., 2009).

4.2.2.2.1 Moagem de Cereais Maltados e Adjuntos

A etapa primordial de moagem, que pode recorrer a moinhos de martelos ou de rolos, consta na decomposição mecânica dos grãos de cereais maltados e não maltados. Esta deve ser cautelosamente planeada pois tem um impacto crítico no rendimento e na composição do mosto. Por um lado, os grãos requerem uma moagem fina de modo a aumentar a superfície de exposição do endosperma amiláceo às enzimas facilitando as etapas seguintes de extração e diluição. Por outro lado, as cascas não devem ser tão moídas para a evitar a exposição em demasia de compostos fenólicos e amargos e de substâncias coloridas que podem ter um efeito adverso na qualidade do produto. Ademais, as cascas devem permanecer praticamente íntegras pois atuam como uma importante camada filtrante aquando da filtração do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009). Esta contradição apela a que a granulometria do grão moído se baseie num compromisso entre um mosto com bom rendimento e uma boa conversão do amido e a ocorrência de uma filtração eficiente (Krottenthaler et al., 2009).

4.2.2.2.2 Mistura

Após a moagem, os cereais maltados e não maltados devem ser misturados com água, normalmente aquecida, de acordo com a receita de cada cerveja. A quantidade de água incorporada varia essencialmente com o tipo de cerveja a ser produzida e as suas especificações de extrato. De facto, esta última propriedade é das mais impactantes na indústria cervejeira e indica, em graus Plato (°P), a quantidade de açúcares presentes no mosto antes da fermentação, ou seja, que estão disponíveis a serem fermentados (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Para cervejas mais claras e, por norma, com um menor extrato, é necessária a adição de uma maior quantidade de água para a obtenção de mostos menos densos e acelerar as reações enzimáticas. Contrariamente, em cervejas mais escuras e com maior extrato, a quantidade de água adicionada é menor (Eßlinger & Narziss, 2005; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Em cervejeiras que adotam a técnica de produção de mostos de alta densidade (HGB, de *High-Gravity Brewing*), isto é, cujo mosto é propositadamente produzido para apresentar uma maior concentração de açúcares fermentescíveis, a quantidade de água incorporada nesta etapa de mistura também será menor, sendo compensada numa das etapas posteriores (Burberg & Zarnkow, 2009; Eßlinger & Narziss, 2005).

Nesta fase também podem ser adicionados outros adjuntos que carecem de moagem e alguns auxiliares tecnológicos e aditivos alimentares, tipicamente ácidos, sais e enzimas, com influência direta no pH e rendimento do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009; Oliver, 2011).

4.2.2.2.3 Empastagem e Caldas

A mistura dos cereais maltados com água é direcionada para uma caldeira, denominada de caldeira de empastagem. Aqui ocorre a solubilização dos componentes do malte quer por processos físicos e químicos quer por processos enzimáticos, devendo-se, para o efeito, manter o controlo sobre parâmetros como tempo, temperatura, agitação, viscosidade e pH (Krottenthaler et al., 2009). Por um lado, as substâncias solúveis como os açúcares, aminoácidos, minerais e algumas vitaminas dissolvem-se na água; por outro lado, as substâncias insolúveis como o amido, as proteínas e os lípidos sofrem hidrólise enzimática (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017).

A empastagem ocorre, por norma, pelo cumprimento de vários patamares de tempo e temperatura que tendem a respeitar as condições ótimas de atuação das diversas enzimas. O primeiro patamar, a temperaturas que rondam os 45 °C a 52 °C, diz respeito à pausa proteolítica, na qual as proteínas são decompostas em pequenos péptidos e aminoácidos por ação de proteases e peptidases. Estes compostos, vulgarmente referidos como FAN, são importantes para a nutrição da levedura e constituem precursores para a ocorrência de reações de *Maillard* (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009; Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Até aos 50 °C também se dá o patamar celulítico, com a hidrólise das hemiceluloses, β -glucanos e gomas contribuindo para a diminuição da viscosidade do empaste (Eßlinger & Narziss, 2005). A temperaturas entre 60 °C e 70 °C ocorre a pausa de sacarificação, que consiste numa das transformações mais relevantes nesta etapa dado que origina o extrato fermentável pela levedura. Em maior detalhe, o amido presente nos grãos de cereais passa inicialmente por um processo de transição denominado de gelatinização, onde os grânulos incham pela absorção de água e ocorre a quebra irreversível da sua estrutura cristalina. Esta temperatura de gelatinização ronda, para o malte de cevada, os 61 °C a 62 °C para os grânulos de maior tamanho e entre 75 °C a 80 °C para os mais pequenos. Apenas estes grânulos podem posteriormente ser alvos das enzimas amilolíticas que procedem à sua sacarificação, isto é, à sua conversão em açúcares fermentáveis como a glucose, a maltose e a maltotriose, e em açúcares não fermentáveis como as dextrinas (Eßlinger & Narziss, 2005;

Krottenthaler et al., 2009; Tenge, 2009). São de destacar as enzimas α -amilase e β -amilase, ambas responsáveis pela quebra das ligações glicosídicas α -(1-4) do amido, sendo que a primeira tende a quebrar as ligações α -(1-4) internas entre as moléculas de glucose e a segunda apenas quebra as ligações α -(1-4) próximas da extremidade não redutora do amido (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009; Krottenthaler et al., 2009). Como estas enzimas não têm a capacidade de quebrar as ligações glicosídicas α -(1-6) das dextrinas, estes açúcares não conseguem ser completamente metabolizados em açúcares mais simples e assimiláveis pela levedura (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009; Oliver, 2011).

Outras reações que tendem a ocorrer na empastagem são a hidrólise do fosfato orgânico com libertação de ácido fosfórico, que diminui o pH e aumenta a capacidade tampão do empaste, e a degradação de lípidos por via oxidativa e enzimática. Também os compostos fenólicos, cuja libertação é favorecida com o decréscimo do pH e o aumento de temperatura, podem passar por processos de oxidação e polimerização, o que pode ter um impacto na cor do empaste e do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009), como abordado na secção 5.3.2 Oxidação de Compostos Fenólicos.

É importante realçar que o uso de cereais não maltados requer a passagem prévia por uma caldeira própria para que a gelatinização do seu amido seja assegurada, uma vez que as temperaturas a que decorre este fenómeno são superiores à temperatura ótima de atuação da β -amilase que ronda os 60 °C a 65 °C (Eßlinger & Narziss, 2005; Kreisz, 2009; Krottenthaler et al., 2009). Ademais, a baixa atividade enzimática dos adjuntos leva à necessidade de mistura com uma pequena porção de malte base e/ou de enzimas exógenas, para maximizar a gelatinização do amido e a subsequente hidrólise em açúcares fermentescíveis. Como exemplo, temos o milho, arroz e sorgo, com temperaturas de gelatinização de 62 °C a 80 °C, 67 °C a 91 °C, e 69 °C a 80 °C, respetivamente. Esta etapa, denominada de caldas, é então vista como um processo previamente complementar ao anterior, sendo que a sua mistura é transferida para a caldeira de empastagem após o cumprimento dos patamares ótimos de tempo e temperatura (Cadenas et al., 2021).

4.2.2.2.4 Filtração do Empaste

O produto final da empastagem, designado de empaste ou mosto denso, é posteriormente filtrado para uma separação sólido-líquido, na qual são removidas as partículas sólidas que não foram solubilizadas, tipicamente as cascas dos grãos de cereais, permanecendo apenas o filtrado que adquire a denominação de mosto (Krottenthaler et al.,

2009). A matéria sólida descartada, com o nome de *dreche*, constitui um dos subprodutos da indústria cervejeira e é tipicamente encaminhada para alimentação animal (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017).

Nesta operação é comum o uso de uma cuba-filtro ou de um filtro-prensa. O primeiro trata-se de um tanque com um fundo poroso que permite o escoamento gravítico lento do mosto ao passar pelo bolo filtrante formado pelas partículas sólidas do empaste. O segundo tem a vantagem de proporcionar filtrações mais rápidas e com o mínimo contacto com oxigénio. Este filtro é constituído por um agrupamento de placas verticais cobertas por membranas porosas que permitem a entrada do empaste. A mistura é prensada e o mosto filtrado vai atravessando as várias membranas, sendo posteriormente lavado com água quente para aumentar a eficiência de extração (Krottenthaler et al., 2009).

4.2.2.2.5 Fervura do Mosto

De forma a economizar tempo na sala de brassagem e manter o escoamento dos diversos fabricos, é comum a passagem do mosto filtrado primeiramente por um tanque tampão intermédio. Este conteúdo é enviado para a caldeira de fervura quando o fabrico nela contida passa para a etapa seguinte (Oliver, 2011).

Na caldeira de fervura, o sistema de aquecimento funciona comumente a partir de permutadores tubulares verticais que se encontram no seu interior. O mosto é aquecido no interior dos tubos, e a diferença de temperatura e densidade favorece um movimento ascendente criando correntes de convecção que auxiliam na homogeneização da mistura. Estas altas temperaturas, que rondam os 100 °C, contribuem para o cessar da atividade enzimática por forma a que não ocorra uma fermentação demasiado prolongada com a possibilidade de alteração do perfil gustativo. Além do mais, a evaporação de água vai permitir o ajuste do extrato do mosto, que deve ir ao encontro do estipulado na receita. Da mesma forma, são também volatilizadas algumas substâncias que conferem sabores e aromas indesejados, particularmente o DMS que é formado aquando da empastagem a partir da S-metilmetionina (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009; Oliver, 2011).

As temperaturas elevadas da fervura favorecem ainda a coagulação de proteínas e a sua reação com polifenóis formando-se precipitados, o que favorece a clarificação do mosto e leva a uma descida do seu pH (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009). Outra reação com grande extensão a temperaturas altas é a reação de *Maillard*, que ocorre pela interação entre aminoácidos e açúcares redutores e contribui para o escurecimento do mosto

e formação de diversos compostos com impacto no *flavour*. À semelhança da empastagem, também pode ocorrer a oxidação e polimerização de compostos fenólicos com um impacto na cor do mosto (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008). Estas duas reações são tratadas mais extensivamente nas secções 5.3.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático e 5.3.2 Oxidação de Compostos Fenólicos.

Do ponto de vista de segurança dos alimentos, as temperaturas elevadas favorecem uma esterilização do mosto, assegurando a ausência de quaisquer microrganismos que pudessem também impactar no metabolismo fermentativo da levedura (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009).

É também na etapa de fervura que se dá a incorporação do lúpulo, dado que as altas temperaturas permitem a isomerização dos α -ácidos do lúpulo em iso- α -ácidos, que são os compostos solúveis que conferem o amargor característico da cerveja. Estas temperaturas também podem levar à volatilização de alguns compostos desejáveis, como os óleos, pelo que os tipos de lúpulo com função mais aromática devem ser adicionados mais tardiamente na fervura. Aqueles lúpulos pré-isomerizados também não necessitam de grande ação térmica (Krottenthaler, 2009; Krottenthaler et al., 2009; Roberts, 2016).

4.2.2.2.6 Clarificação do Mosto

Após a fervura, o mosto de cerveja deve ser clarificado para a remoção dos componentes responsáveis por uma turvação indesejada e que podem comprometer o *flavour* da bebida. Nesta operação, é comum a utilização de um *whirlpool*, onde o mosto é bombeado tangencialmente para o interior deste tanque cilíndrico criando uma força centrífuga que promove a deposição das partículas sólidas ao centro. Estes resíduos, denominados de *trub* quente, são maioritariamente proteínas coaguladas na fervura, substâncias amargas, e outros compostos orgânicos como polifenóis e minerais (Eßlinger & Narziss, 2005; Krottenthaler et al., 2009).

4.2.2.2.7 Arrefecimento e Arejamento do Mosto

Por fim, o mosto já clarificado deve ser devidamente arrefecido para permitir a subsequente inoculação da levedura. Nos casos de leveduras de baixa fermentação, o mosto deve ser arrefecido a temperaturas entre os 4 °C e 15 °C, enquanto para as leveduras de alta fermentação pode ser arrefecido de 12 °C a 18 °C. Ambos os intervalos são de acordo com as

condições ótimas de fermentação das diferentes leveduras (Eßlinger & Narziss, 2005; Humia, et al., 2019; Tenge, 2009).

Uma fermentação eficiente depende ainda do fornecimento de oxigénio, dado que este é necessário para a síntese de alguns lípidos importantes no metabolismo da levedura. Como tal, o mosto deve ser controladamente arejado, quer seja com ar estéril ou com oxigénio puro, numa quantidade que ronda os 8 a 10 miligramas (mg) de oxigénio por L de mosto. Este é o único estágio do processo fermentativo no qual o mestre cervejeiro pretende a presença de oxigénio, que deve ser consumido rapidamente pela levedura (Eßlinger, 2009; Russell, 2016).

4.2.2.3 Fermentação

A fermentação consiste num processo bioquímico anaeróbio de metabolização de substratos em produtos por ação microbiana, ocorrendo em simultâneo o ganho de energia na forma de adenosina trifosfato (ATP, de *Adenosine Triphosphate*). No caso da produção de cerveja, a levedura é responsável pela conversão dos açúcares fermentescíveis em álcool, CO₂ e energia. Paralelamente, dá-se a formação de diversos outros subprodutos com um efeito considerável no perfil organolético da cerveja. São de destacar alguns ácidos orgânicos, álcoois superiores aromáticos, compostos carbonílicos, compostos sulfurosos e ésteres, cada um conferindo aromas e sabores peculiares com diferentes limiares de deteção (Barth, 2013; Eßlinger, 2009; Eßlinger & Narziss, 2005). Estes compostos têm também impacto no pH, que tende a acidificar e rondar os 4,3 a 4,6. A descida do pH favorece a precipitação de polifenóis e leva à mudança de cor de algumas substâncias. Ao mesmo tempo, outros compostos tendem a adsorver à superfície da levedura e são removidos no final da fermentação, tudo isto contribuindo para um decréscimo na cor (Eßlinger, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008).

A etapa fermentativa começa com a inoculação da levedura no mosto, que ocorre durante a sua transferência para o tanque de fermentação numa proporção próxima das 15 a 20 milhões de células por mililitro (mL) de mosto arrefecido e arejado. Como referido anteriormente na secção 4.2.1.4 Levedura, numa fase inicial o mosto carece de oxigénio para a correta propagação da levedura. Todavia, quando este é consumido na totalidade, a levedura ajusta o seu metabolismo de aeróbico para anaeróbico e inicia-se a fermentação alcoólica propriamente dita. Além da taxa de arejamento do mosto e da própria levedura, também a composição do mosto afeta o processo fermentativo pela influência que tem no metabolismo da levedura. A geometria do fermentador também parece ter impacto, principalmente pelas diferentes pressões hidrostáticas que exercem (Barth, 2013; Eßlinger, 2009).

No decorrer do processo fermentativo devem ser mantidos sob controlo parâmetros como a temperatura, que pode sofrer alterações dado tratar-se de uma reação exotérmica, bem como valores de extrato e diacetilo. Este último é um composto carbonílico importante para o entendimento da maturidade da cerveja fermentada, mas indesejado pelo seu *flavour* amanteigado característico devendo ser mantido abaixo do seu limiar de deteção no produto final (Eßlinger, 2009).

Com o findar da fermentação, as leveduras são removidas e podem, caso se encontrem nas devidas condições, ser reutilizadas e reintroduzidas numa nova fermentação (Eßlinger, 2009; Tenge, 2009). Posteriormente, a cerveja fermentada é encaminhada para tinhas de guarda, podendo passar primeiro por etapas de centrifugação e/ou incorporação de aditivos com vista a otimizar a sua aparência final (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017).

4.2.2.4 Guarda

Na etapa de guarda, a cerveja verde, nome dado à cerveja após fermentação, deve descansar em tanques por uma a duas semanas a temperaturas entre -2 °C e 0 °C, contribuindo para o aprimoramento das suas características físico-químicas e organoléticas. De facto, as baixas temperaturas contribuem para o melhoramento da estabilidade coloidal e filtrabilidade da cerveja graças à precipitação de compostos como proteínas e polifenóis causadores de turvação, bem como de levedura residual (Eßlinger, 2009; Lindemann, 2009). Esta é ainda responsável pelo consumo adicional de algum extrato residual numa fermentação secundária que contribui para a carbonatação da cerveja (Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, 2017). Com isto, ocorre ainda o refinar de sabores e aromas com a remoção de substâncias indesejáveis (Eßlinger, 2009).

4.2.2.5 Filtração

Após a fase de maturação, segue-se comumente uma etapa de filtração que contribui para a estabilização biológica e físico-química da cerveja pela remoção das partículas em suspensão responsáveis pela sua turbidez. São habitualmente utilizados filtros de placas celulósicas e como auxiliar de filtração é utilizada uma rocha diatomácea moída de elevada porosidade chamada de *kieselguhr*. Este pó vai revestir a superfície das placas do filtro e compor uma camada filtrante e permeável muito eficaz. Com a passagem do fluxo de cerveja, as partículas retidas nesta camada vão-se aglomerando na forma de um bolo semi-sólido que contribui também para o processo de filtração (Eßlinger & Narziss, 2005; Lindemann, 2009).

Uma melhor remoção dos materiais causadores de turvação, essencialmente proteínas e polifenóis, pode ser conseguida com a utilização de outros auxiliares além do *kieselguhr*. Enquanto as proteínas podem ser decompostas enzimaticamente pela adição de proteases ou removidas por adsorção à sílica, os polifenóis são eliminados por adsorção ao PVPP. Estes agentes clarificantes são habitualmente adicionados antes da etapa de filtração propriamente dita, ficando igualmente retidos nos filtros (Eßlinger & Narziss, 2005; Lindemann, 2009; Oliver, 2011). A utilização de todos estes adjuvantes pode ter um impacto negativo na cor pela possível adsorção de compostos coloridos à sua superfície, efeito que é transversal aos panos de celulose dos filtros (Shellhammer & Bamforth, 2008).

No caso de ser adotado um modo de produção HGB, há ainda a necessidade de diluição da cerveja concentrada com água esterilizada e desarejada até se atingir as especificações de extrato. Opcionalmente, pode seguir-se também uma etapa de carbonatação (Burberg & Zarnkow, 2009; Eßlinger & Narziss, 2005).

Por fim, a cerveja filtrada segue para os tanques de cerveja filtrada (TCF) até ao seu enchimento, sendo ainda submetida a uma pasteurização que garante a sua estabilidade microbiológica (Eßlinger & Narziss, 2005; Lindemann, 2009).

4.3 Considerações Legais

No tópico de legislação, cada país impõe as suas próprias normas alusivas às matérias-primas e ao processo cervejeiro, bem como relativas à rotulagem e normas publicitárias que devem ser respeitadas.

Em Portugal, pela Portaria n.º 91/2022, a cerveja é uma “bebida obtida por fermentação alcoólica de um mosto preparado a partir de água potável e de malte de cereais por ação de leveduras, ao qual são adicionadas flores de lúpulo e/ou seus derivados (...)”. Os “maltes de cereais deverão corresponder a, pelo menos, 50% em massa do total das matérias-primas fontes de açúcares empregues”, sendo que esta matéria-prima é definida como “o produto obtido a partir de grãos de cevada, trigo ou outros cereais submetidos a um processo de maltagem”, devendo ser designado “com o nome do cereal de origem”. Quanto ao lúpulo, é mencionada nesta Portaria a proibição da substituição total das suas flores e derivados por outros princípios amargos, e é ainda censurada a adição de álcool que não resulte de um processo de fermentação.

A incorporação de outras matérias-primas amiláceas ou açucaradas é autorizada desde que esta “não exceda 50% em massa do total das fontes de açúcares empregues”. Já a adição de outros ingredientes destinados ao consumo humano é também permitida desde que “não excedam 30% em volume do produto final” (Portaria n.º 91/2022, 2022). Neste campo, o Regulamento (CE) n.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho autoriza, dependendo do tipo de cerveja e do seu modo de acondicionamento, determinados corantes, conservantes, antioxidantes, edulcorantes, estabilizantes, espessantes e emulsionantes, alguns destes com limitações quanto ao teor máximo.

Para efeitos comerciais, a Portaria n.º 91/2022 categoriza vários tipos de cerveja quanto à denominação legal que devem apresentar, distinguindo-as principalmente com base no teor de álcool em volume e/ou teor de extrato, bem como parâmetros relacionados com as matérias-primas e processo produtivo.

PARÂMETROS DE QUALIDADE DA CERVEJA: A COR

A definição de qualidade de um género alimentício é algo complexa, especialmente por se tratar de um conceito subjetivo que está diretamente relacionado com as perceções de cada indivíduo. Esta ideia é principalmente influenciada por uma série de atributos que incluem tanto características intrínsecas como extrínsecas ao próprio produto, ambas influenciando fortemente a aceitabilidade pelo consumidor (Betancur et al., 2020; Peri, 2006; Petrescu et al., 2020). Nesta temática, existem modelos que fazem depender a qualidade de um género alimentício de 13 requisitos, categorizados em requisitos do próprio produto, requisitos psicológicos, requisitos de garantia e requisitos associados ao sistema de embalagem e ao mercado. Se algum destes não corresponder às necessidades ou expectativas do consumidor, então a avaliação geral da qualidade do produto pode resultar na rejeição do mesmo. Contrariamente, a excelência de um dos requisitos pode ser suficiente para levar a uma aceitação imediata do produto (Peri, 2006).

A preocupação com este conceito de qualidade é fundamental em toda a indústria alimentar. De facto, é importante entender quais os principais atributos de qualidade que o consumidor aprecia de forma a lançar no mercado um produto em conformidade com as suas necessidades e expectativas. Isto garante, não só, a satisfação e fidelização dos seus clientes, mas também contribui para o sucesso competitivo e sobrevivência da própria marca (Petrescu et al., 2020). No entanto, este trabalho implica um controlo efetivo de todo o processo produtivo e a existência de equipas de melhoria contínua que asseguram a erradicação de todo

o tipo de falhas e perdas que podem impactar a qualidade do produto final (Ahuja, 2009; Okpala et al., 2018; Petrescu et al., 2020).

No setor cervejeiro, as preferências sobre a qualidade da cerveja não são consensuais entre todos os consumidores. Com efeito, a escolha da cerveja é influenciada por vários parâmetros, simplificados na Figura 5.1, que se agrupam em (1) variáveis dependentes do consumidor, (2) variáveis associadas ao próprio produto, e (3) variáveis associadas ao ambiente e contexto de consumo (Betancur et al., 2020). Em maior detalhe:

- 1) As **variáveis dependentes do consumidor** podem depender de fatores genéticos, psicológicos, demográficos e comportamentais. Os fatores genéticos podem influenciar, por exemplo, a predisposição do consumidor à percepção de determinadas características sensoriais; os fatores psicológicos determinam a personalidade e a forma de interpretação das percepções; os fatores demográficos incluem, por exemplo, parâmetros como o gênero e a idade que também têm influência no momento de escolha; e os fatores comportamentais definem os padrões de consumo (Betancur et al., 2020);
- 2) As **variáveis associadas ao próprio produto** incluem, não só, propriedades intrínsecas, mas também extrínsecas. As primeiras incluem as características físico-químicas e organoléticas da cerveja, desde a sua composição química e nutricional a atributos sensoriais como o sabor, aroma, *flavour*, espuma e cor (Betancur et al., 2020). Neste contexto, é importante clarificar as diferenças entre o sabor, aroma e *flavour* de um alimento pois são conceitos habitualmente confundidos. Por um lado, o sabor envolve a percepção de compostos não voláteis por meio dos recetores gustativos predominantes na cavidade oral, caracterizando o doce, salgado, amargo, azedo e umami. Por outro lado, o aroma é dado pela percepção de compostos voláteis ao nível dos recetores do sistema olfativo, particularmente o sistema ortonasal. No outro sistema olfativo, o retronasal, o aroma provém da volatilização dos compostos presentes na cavidade bucal, resultando numa combinação do sabor e aroma. Já o *flavour* é mais complexo pois integra o sabor, aroma e outras sensações químicas, estas últimas induzidas aquando do estímulo das terminações do nervo trigêmeo presentes na boca, nariz e olhos (Menis-Henrique, 2020; Spence, 2015). Quanto às segundas propriedades, por sua vez, referem-se à forma como a marca

interage com o consumidor, incluindo, principalmente, o rótulo e a embalagem do produto (Betancur et al., 2020);

- 3) As **variáveis associadas ao ambiente e contexto de consumo** dependem, essencialmente, da atmosfera envolvente, incluindo condições de luz e temperatura, e da ocasião e razão do consumo (Betancur et al., 2020; Spence, 2018).

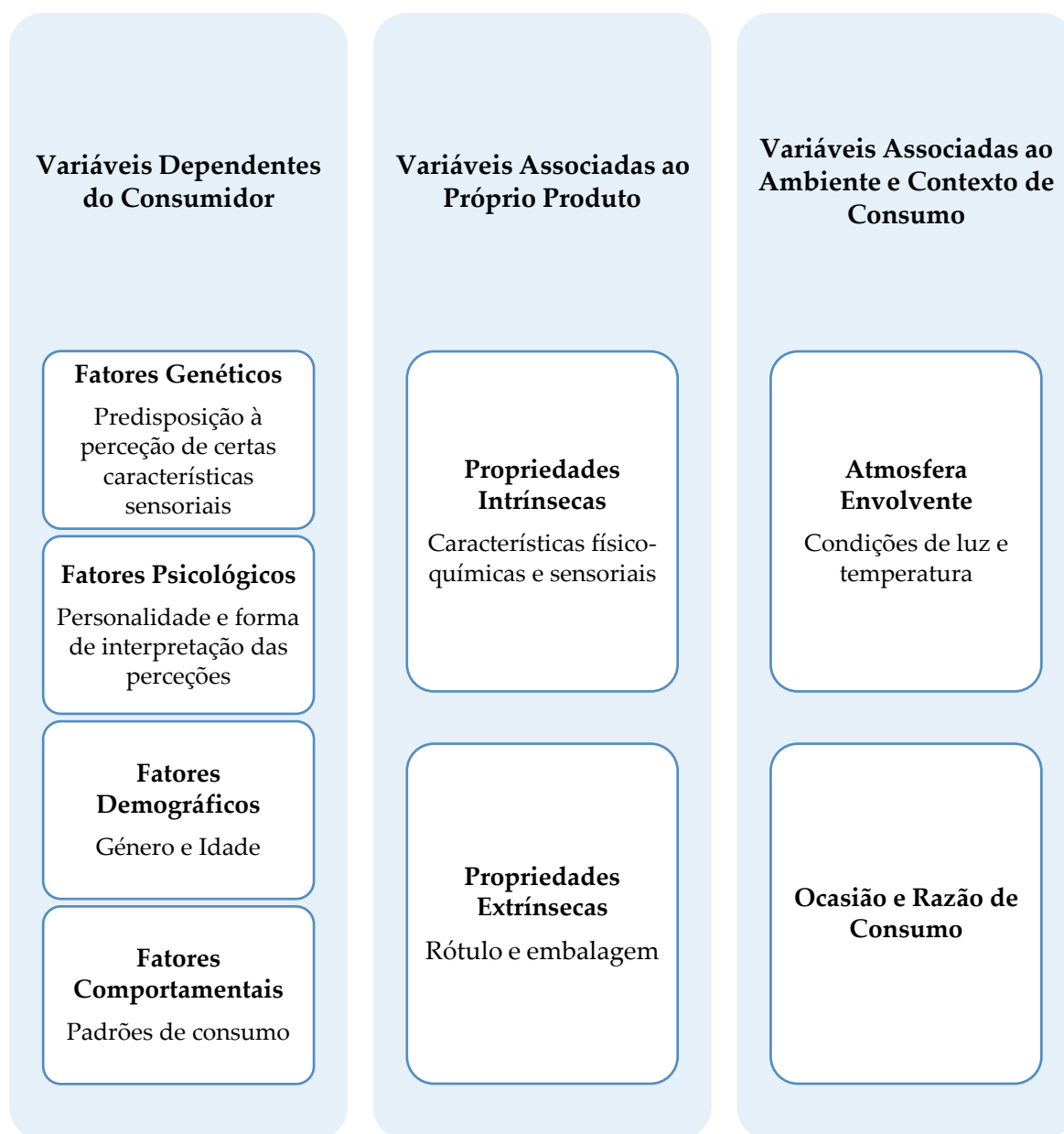


Figura 5.1 Principais variáveis que influenciam a escolha da cerveja por parte do consumidor.

De todas estas, as características mais preponderantes para o consumidor que evidenciam a qualidade da cerveja são aquelas imediatamente perceptíveis no momento da aquisição do produto, nomeadamente aspetos relacionados com a própria embalagem, que deve apresentar-se limpa, íntegra e com o rótulo legível. No entanto, são as características organoléticas as mais determinantes na aceitabilidade do produto. Assim que esta bebida é servida, salta à vista atributos como a cor, a limpidez, e a espuma e sua estabilidade. Com a degustação, o consumidor experiencia o amargor, o teor de álcool, o corpo e o conteúdo em CO₂ (Betancur et al., 2020; Doorn et al., 2019; Lerro et al., 2020; Spence, 2015). Vale notar que esta experiência de degustação é, no entanto, fortemente influenciada pelas expectativas criadas previamente (Doorn et al., 2019).

5.1 Impacto da Cor da Cerveja

Aos olhos do consumidor, a cor da cerveja é um dos atributos fundamentais que influencia a forma como percebem e experimentam o produto, podendo ainda levar a um julgamento categórico quanto ao tipo de cerveja em causa (Betancur et al., 2020; Doorn et al., 2019; Shellhammer & Bamforth, 2008). O grau de discrepância entre a expectativa criada pela cor da bebida e a experiência após a sua degustação vai ditar o real impacto deste atributo sensorial. Se, após a degustação, a experiência for ao encontro da expectativa prévia, então a cor da cerveja tem assumidamente um impacto na apreciação do produto. Se, pelo contrário, a expectativa e a experiência diferirem, então a sugestão visual deixa de ser relevante e pode levar a que a bebida seja negativamente julgada (Doorn et al., 2019). Neste contexto, nos últimos anos, vários estudos têm vindo a avaliar o impacto da cor desta bebida na expectativa do consumidor antes da degustação e na sua perceção durante e após a degustação, como resume a Tabela 5.1.

Em um dos primeiros trabalhos sobre o tema, Guinard et al. (1998) concluiu que o aumento de cor da cerveja está negativamente associado com o seu poder saciante e refrescante. Isto é, de um estudo com 12 provadores qualificados que classificaram a intensidade de vários atributos numa escala de *Likert* com 11 pontos, as cervejas mais claras foram identificadas como mais refrescantes e com maior capacidade de saciar a sede, enquanto as cervejas mais escuras como menos refrescantes e saciantes (Guinard et al., 1998).

Anos mais tarde, Smythe et al. (2002) realizou um estudo com 18 norte-americanos onde classificaram, por ordem crescente ou decrescente, três amostras de cervejas com cores

de 4,5; 6,0 e 16,0 EBC em relação a alguns atributos. Para cada cerveja foram preparados três copos, sendo que o primeiro copo foi cheio e posteriormente vazado, o segundo copo foi cheio e seguidamente meio vazado, e o terceiro copo foi apenas cheio. Os participantes, apenas por observação dos vários copos de cada amostra, indicaram a cerveja mais escura como tendo o maior amargor, o maior teor alcoólico, a melhor aparência visual, a melhor estabilidade de espuma e, no geral, a mais propensa a ser adquirida. Por oposição, a cerveja mais clara foi apontada como a menos amarga, com menor teor alcoólico e a menos favorecida a nível de aparência visual (Smythe et al., 2002). Algumas contradições foram feitas por Donadini et al. (2014) que, de entre 246 consumidores italianos e 8 provadores qualificados, concluiu que a cerveja mais clara foi a mais apreciada e a classificada pela maioria como tendo um teor alcoólico moderado. Em contraste, a cerveja mais escura foi caracterizada com níveis de amargor e adstringência superiores, e com notas queimadas e torradas ao invés de notas doces e frutadas características da cerveja mais clara (Donadini et al., 2014). O facto de a cerveja clara ser considerada de baixo amargor e adstringência, bem como doce e frutada, pode ser concordante com o seu maior poder saciante defendido por Guinard et al. (1998).

O mesmo autor realizou, ainda, um estudo onde apresentaram a 230 participantes italianos, 160 polacos e 160 espanhóis, cerca de 40 perfis de cervejas hipotéticas caracterizadas quanto ao tipo de malte, adjuntos, fontes de açúcares, ingredientes, características sensoriais e preço. Estes perfis foram divulgados aos participantes na forma escrita e visual, e estes classificaram-nos quanto ao nível de interesse numa escala de *Likert* de 9 pontos. Em relação à cor, os italianos tiveram um interesse especial em cervejas douradas. Nos polacos, a opinião divergiu e os homens não mostraram interesse em cervejas vermelhas ou escuras, contrariamente às mulheres que expressaram interesse nas cervejas vermelhas. Já os homens espanhóis preferiram cervejas douradas e vermelhas, e as mulheres não mostraram interesse em cervejas escuras (Donadini, et al., 2016).

No mesmo ano, Spearot (2016) fez um estudo com consumidores experientes e não experientes, isto é, indivíduos habitualmente consumidores da bebida ou não, que provaram cervejas devidamente preparadas para serem quimicamente semelhantes, mas com diferentes cores. Nas provas às cegas, com 24 participantes, os resultados para ambas as cervejas foram similares, mas quando a cor ficou visível, agora para 85 provadores, a cerveja clara foi classificada como mais amarga que a cerveja escura. Este efeito não foi na direção esperada tendo em conta estudos anteriores, mas o autor justificou-o pela crescente popularidade das

Indian Pale Ales na América do Norte, que são um estilo de cerveja de cor clara e amarelada, mas com um amargor intenso derivado do lúpulo (Spearot, 2016).

À semelhança do estudo anterior, Carvalho et al. (2017) preparou duas cervejas com atributos sensoriais semelhantes à exceção da cor, com uma amostra de 17,5 EBC e outra de 50,0 EBC. Ainda antes de provarem a bebida, os 136 participantes, maioritariamente provenientes da Bélgica, França e Reino Unido, especularam a cerveja mais clara como mais apetecível, menos amarga, menos intensa e menos encorpada que a cerveja mais escura. Após experienciarem a bebida às cegas, estas classificações foram semelhantes entre as duas cervejas, pelo que os autores concluíram que a cor não teve grande influência na percepção do *flavour* da cerveja. Ainda assim, a aparência visual impactou a criação de diferentes expectativas iniciais sobre as cervejas com diferentes colorações (Carvalho et al., 2017).

Alguns anos depois, o mesmo autor conduziu duas experiências utilizando igualmente amostras de cerveja com os mesmos atributos sensoriais e diferentes cores. No primeiro ensaio, os 166 participantes provaram e avaliaram a mesma cerveja servida num copo transparente e num copo preto, este último para ocultar a cor da bebida. Concluiu-se que não houve interação entre a cor e a percepção dos vários atributos analisados, exceto para o corpo da cerveja que foi classificado como superior nas circunstâncias em que a cor da bebida era visível. No segundo ensaio, cada um dos 153 participantes provou as duas cervejas de diferentes cores às cegas e avaliou uma série de atributos antes e após a degustação para a medição das expectativas e percepções, respetivamente. Antes da degustação, a cerveja clara foi classificada como sendo mais apetecível, menos amarga, com menor teor alcoólico e menos encorpada do que a cerveja mais escura. Após degustação às cegas, a apreciação da cerveja clara foi menor e foi, inclusive, classificada como tendo um maior corpo quanto às expectativas anteriores. Já a cerveja escura foi, após degustação, identificada como a preferida e classificada como menos amarga, com menor teor alcoólico e menor corpo relativamente às expectativas prévias para a mesma. Como tal, parece que as expectativas iniciais retiradas com base na cor da cerveja não foram impactantes na sua percepção, tendo-se assistido à divergência de alguns aspetos sensoriais após a degustação (Carvalho et al., 2019).

Além da clara influência da cor da cerveja nas expectativas e percepção da bebida pelos consumidores, nomeadamente em relação a outros atributos sensoriais como o amargor, adstringência, teor alcoólico, corpo e *flavour*, também a cor da própria embalagem e rótulo parece ter impacto (Barnett & Spence, 2016). Do mesmo modo, pode-se considerar, ainda, a influência da cor da luz ambiente na percepção sensorial desta bebida (Spence, 2018).

Tabela 5.1 Resumo dos estudos citados acerca do impacto da cor da cerveja na expectativa do consumidor antes da degustação e/ou na sua percepção durante e após a degustação.

AUTOR E ANO DE PUBLICAÇÃO	POPULAÇÃO AMOSTRADA	AMOSTRAS EM ESTUDO	MÉTODO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	
				Cervejas mais Claras	Cervejas mais Escuras
Guinard et al. (1998)	América do Norte (n=12)	18 cervejas com diferentes cores	Avaliação da intensidade de vários atributos de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 11 pontos, após degustação	Mais refrescantes e saciantes	Menos refrescantes e saciantes
Smythe et al. (2002)	América do Norte (n=18)	3 cervejas com cores de 4,5 (clara); 6,0 (clara) e 16,0 (escura) EBC	Avaliação de 18 atributos numa escala de melhor para pior, por observação	Menos amargas, menor teor alcoólico, menor estabilidade de espuma, pior aparência e menor intenção de compra	Mais amargas, maior teor alcoólico, melhor estabilidade de espuma, melhor aparência e maior intenção de compra
Donadini et al. (2014)	Itália (n=246)	8 cervejas com diferentes cores	Avaliação da intensidade de vários atributos de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 9 pontos, após degustação	Menos amargas, maior teor alcoólico, e com notas doces e frutadas	Mais amargas e adstringentes, e com notas tostadas e queimadas

Tabela 5.1 Resumo dos estudos citados acerca do impacto da cor da cerveja na expectativa do consumidor antes da degustação e/ou na sua percepção durante e após a degustação (Continuação).

AUTOR E ANO DE PUBLICAÇÃO	POPULAÇÃO AMOSTRADA	AMOSTRAS EM ESTUDO	MÉTODO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	
				Cervejas mais Claras	Cervejas mais Escuras
Donadini et al. (2016)	Itália, Polónia e Espanha (n=550)	40 cervejas hipotéticas com descritores de cor: dourada, ruiva e escura.	Avaliação do nível de interesse de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 9 pontos, por observação	A cor dourada influenciou positivamente os italianos e espanhóis	A cor ruiva teve uma influência negativa para os homens polacos e positiva para as mulheres polacas e homens espanhóis. A cor escura atraiu as mulheres polacas e desinteressou os homens polacos e mulheres espanholas
Spearot (2016)	América do Norte (n=24 e n=85)	3 cervejas semelhantes, mas com cores de 24,8 (clara); 58,6 (escura) e 105,2 (escura) EBC	Avaliação da intensidade de vários atributos de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 15 pontos, após degustação às cegas e com cor visível	Às cegas: todos os atributos foram similares entre todas as cervejas. Com a cor visível: mais amargas	Às cegas: todos os atributos foram similares entre todas as cervejas. Com a cor visível: menos amargas

Tabela 5.1 Resumo dos estudos citados acerca do impacto da cor da cerveja na expectativa do consumidor antes da degustação e/ou na sua percepção durante e após a degustação (Continuação).

AUTOR E ANO DE PUBLICAÇÃO	POPULAÇÃO AMOSTRADA	AMOSTRAS EM ESTUDO	MÉTODO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	
				Cervejas mais Claras	Cervejas mais Escuras
Carvalho et al. (2017)	Maioritariamente Bélgica, França e Reino Unido (n=136)	2 cervejas semelhantes, mas com cores de 17,5 (clara) e 50,0 (escura) EBC	Avaliação da intensidade de vários atributos de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 7 pontos, antes e após degustação às cegas	Antes da degustação: mais apetecível e menos amarga, intensa e encorpada. Após a degustação: todos os atributos foram similares entre todas as cervejas	Antes da degustação: menos apetecível e mais amarga, intensa e encorpada. Após a degustação: todos os atributos foram similares entre todas as cervejas
Carvalho et al. (2019) – 1ª experiência	Maioritariamente Bélgica (n=166)	2 cervejas semelhantes, mas com cores de 2,0 (clara) e 76,5 (escura) EBC	Avaliação da intensidade de vários atributos de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 7 pontos, após degustação às cegas e com cor visível	Não houve grandes interações entre a cor e a percepção dos vários atributos analisados, exceto para o corpo da cerveja que, em ambas as cervejas, foi classificado como superior nas circunstâncias em que a cor da bebida era visível	
Carvalho et al. (2019) – 2ª experiência	Maioritariamente Bélgica (n=153)	2 cervejas semelhantes, mas com cores de 2,0 (clara) e 76,5 (escura) EBC	Avaliação da intensidade de vários atributos de acordo com uma escala de <i>Likert</i> com 7 pontos, antes e após degustação	Antes da degustação: mais apetecível, com menor teor alcoólico e menos amarga e encorpada. Após a degustação: menor apreciação e maior corpo que as expectativas prévias	Antes da degustação: menos apetecível, com maior teor alcoólico e mais amarga e encorpada. Após a degustação: mais apetecível, menos amarga, com menor teor alcoólico e menor corpo que as expectativas prévias

5.2 Percepção e Determinação da Cor da Cerveja

No fenómeno de percepção de cor devem existir três elementos: (1) fonte de luz, (2) objeto, e (3) detetor. Com efeito, a luz incide no objeto e pode ser refletida, transmitida, refratada, absorvida e/ou dispersa. Destas, apenas a luz que não é absorvida, captada pelo detetor, contribui para a posterior interpretação da cor do objeto (Shellhammer, 2009).

Para o ser humano, é ao nível dos olhos que a cor é primeiramente detetada. De facto, a retina do olho humano é sensível a radiações de comprimento de onda entre 380 e 780 nanómetros (nm), correspondentes à região visível do espectro eletromagnético. Para cada comprimento de onda pertencente à faixa de luz visível está associada a percepção de uma cor, desde o violeta ao vermelho (Lange, 2016; Shellhammer, 2009). Esta informação é captada por dois tipos de células fotorrecetoras, designadas de bastonetes e cones, que convertem a luz num impulso elétrico transmitido pelo nervo ótico até ao cérebro. Os bastonetes permitem a visão em condições de fraca luminosidade pela sua alta sensibilidade à luz, mas têm baixa acuidade e não contribuem para a percepção das cores. Já os cones têm uma sensibilidade à luz menor, mas são capazes de discernir as cores, existindo, para o efeito, três tipos de cones (Shellhammer, 2009). Estes diferem entre si pela sensibilidade a diferentes comprimentos de onda, sendo que os cones L conseguem captar comprimentos de onda mais longos, correspondentes à cor vermelha; os cones M respondem à luz de comprimento de onda médio, percecionando até à cor verde; e os cones S apenas são sensíveis a comprimentos de onda de luz mais curtos, associados à cor azul (Kalloniatis & Luu, 2005). É o conjunto dos sinais recebidos pelos três tipos de cones que define a gama de cores que está a ser observada e que é percecionada ao nível do cérebro (Shellhammer, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008).

Cada cor tem a sua própria aparência com base em três atributos principais, sendo eles a luminosidade, tonalidade e saturação. Estes conceitos podem ser combinados num modelo tridimensional, representado na Figura 5.2, que permite distinguir com clareza as diferentes cores. Neste modelo, a luminosidade, que indica o quanto a cor é escura ou clara, é representada pelo eixo vertical e vai desde o preto até ao branco. A tonalidade, que está associada à própria essência da cor e suas combinações, é dada circunferencialmente pelo ângulo que estabelece com o eixo vertical. Já a saturação, definida como a intensidade ou pureza da cor, é disposta radialmente e corresponde à distância ao eixo vertical (Lange, 2016; Shellhammer, 2009).

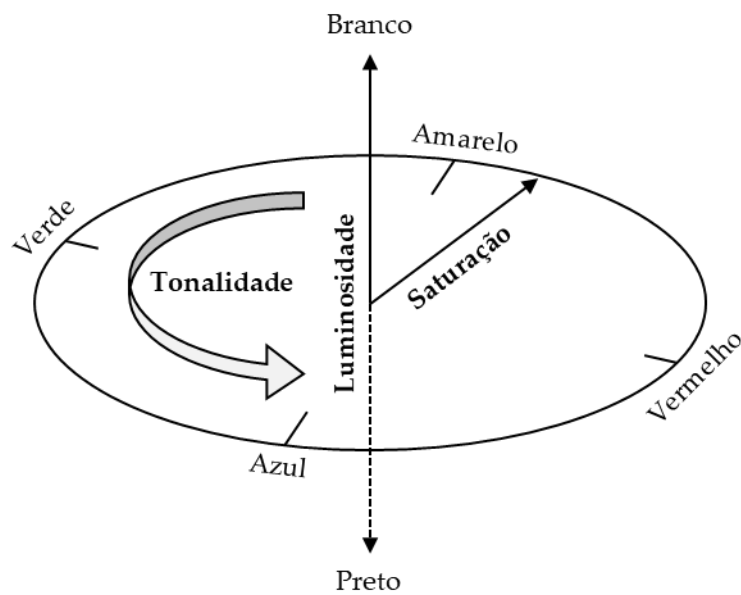


Figura 5.2 Modelo tridimensional de cores, com destaque para os principais três atributos: luminosidade, tonalidade e saturação. Adaptado de (Shellhammer, 2009).

Foi com base neste modelo tridimensional que Albert Munsell criou, na primeira década no século XX, um sistema de classificação de cores, representado na Figura 5.3, descrevendo-as com base nos mesmos três atributos. No sistema de Munsell, as cores são representadas num espaço cilíndrico de três eixos e são especificadas, ordenadamente, pelos valores de tonalidade, luminosidade e saturação, aqui designados por *hue* (H), *value* (V) e *chroma* (C) respetivamente, no formato H V/C (Kalloniatis & Luu, 2005).

No entanto, a subjetividade da perceção da cor pelo olho humano tornou necessária a existência de métodos instrumentais para a determinação deste parâmetro, caracterizados como sendo mais precisos e reprodutíveis (Shellhammer & Bamforth, 2008). Neste âmbito, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE, de *Commission Internationale de L'Eclairage*) desenvolveu três dos métodos mais conhecidos: (1) CIE XYZ, (2) CIE $L^*a^*b^*$ e (3) CIE $L^*C^*h^*$. O espaço de cor CIE XYZ é baseado, como o nome sugere, nos valores tristímulus XYZ, que representam as quantidades necessárias das três cores primárias – azul, verde e vermelho – para se obter determinada cor. Estes termos podem ser calculados pela combinação dos valores de transmitância do objeto a diferentes comprimentos de onda, com outros parâmetros dependentes da fonte de luz e da sensibilidade do observador nas mesmas condições (Shellhammer, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008). Os valores de XYZ, por sua vez, podem ser matematicamente convertidos nos valores tristímulus de L^* , a^* e b^* que integram o espaço

de cor CIE $L^*a^*b^*$. Aqui, são considerados os três atributos da cor, com o L^* a representar a luminosidade, a^* a retratar a variação entre vermelho/verde (valores positivos indicam uma proximidade ao vermelho e valores negativos uma aproximação ao verde), e b^* a caracterizar a variação entre amarelo/azul (valores positivos a indicar uma proximidade ao amarelo e valores negativos uma aproximação ao azul). Este método correlaciona-se de uma forma consistente com a percepção visual do ser humano, sendo amplamente utilizado para a avaliação de cores (Shellhammer & Bamforth, 2008). As coordenadas cromáticas a^* e b^* , por sua vez, podem ser convertidas nos valores de C^* (*chroma*) e h^* (ângulo de tonalidade), respetivamente. Estes últimos são integrados, juntamente com o L^* , no espaço de cor CIE $L^*C^*h^*$, que oferece uma vantagem sobre o anterior pois é muito fácil de se relacionar com os sistemas de determinação de cor mais antigos com base numa comparação visual de amostras, como o sistema de Munsell (Kalloniatis & Luu, 2005; Shellhammer & Bamforth, 2008).

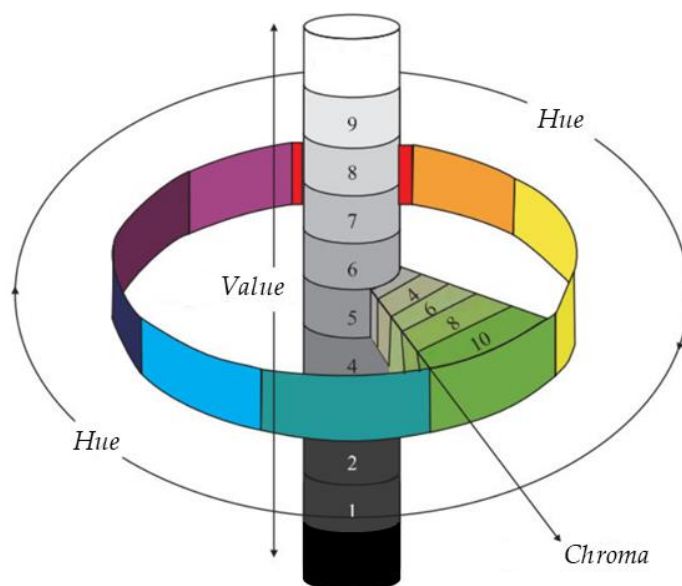


Figura 5.3 Sistema de cores de Munsell. Adaptado de (Kalloniatis & Luu, 2005).

Ainda que o espaço de cor CIE $L^*a^*b^*$, também recorrentemente apelidado de CIELAB, tenha sido aprovado pela Sociedade Americana da Indústria Cervejeira de Malte e Afins (ASBC, de *American Society of Brewing Chemists*) como um método padrão para a determinação da cor da cerveja (American Society of Brewing Chemists, 2002; American Society of Brewing Chemists, 2006), este não é corriqueiramente utilizado (Shellhammer & Bamforth, 2008). Atualmente, todas as cervejeiras utilizam uma escala de cor definida pela Convenção Europeia

de Cervejeiros (EBC, de *European Brewery Convention*) para medir a cor da cerveja, exceto os americanos que têm a sua própria métrica, denominada Método de Referência Padrão (SRM, de *Standard Reference Method*) e desenvolvida pela ASBC. Em particular, a escala EBC é inclusive utilizada para classificar a coloração dos maltes, que têm também um impacto significativo na coloração final da cerveja (Koren, et al., 2020; Lange, 2016; Shellhammer & Bamforth, 2008).

Estas escalas surgiram na segunda metade do século XX com o objetivo de reduzir os desvios consideráveis do sistema de determinação de cor utilizado até então, baseado na comparação direta da amostra com padrões de vidro coloridos. De facto, este método, designado *Lovibond*, ganha pela sua simplicidade e rapidez, mas apresenta muitos erros inerentes da comparação visual de cores devido à idade e desgaste das lâminas padrão, à luz usada para iluminar as amostras e à própria variabilidade específica ao observador, sendo difícil obter resultados consistentes (Koren, et al., 2020; Shellhammer & Bamforth, 2008). Ainda assim, o método *Lovibond* continua a ser utilizado nas indústrias cervejeiras, mas os resultados devem ser comparados com aqueles obtidos pelo método espectrofotométrico, que constitui, não só, a base das escalas EBC e SRM, mas também a base dos vários espaços de cor CIE (Lange, 2016; Shellhammer & Bamforth, 2008).

Nas escalas de cor EBC e SRM, mede-se a transmitância ou absorvância a um único comprimento de onda, sendo um método mais rápido, direto e mais facilmente comparável (Shellhammer & Bamforth, 2008). A seleção deste comprimento de onda foi algo ambíguo, mas está atualmente fixado em 430 nm. Nos métodos tristímulus, mede-se a transmitância ou absorvância a múltiplos comprimentos de onda separados por 5 nm, começando em 380 nm e terminando em 780 nm (Lange, 2016). Como tal, todo o espectro de transmissão ou absorção da cerveja é considerado, fornecendo uma representação mais exata da cor da cerveja num espaço de cor tridimensional. De facto, alguns estudos mostram que cervejas com a mesma absorvância a 430 nm, isto é, com o mesmo valor de cor na escala EBC ou SRM, têm diferentes valores de L^* , a^* e b^* . Tipicamente, nas cervejas mais claras, o método de determinação com um único comprimento de onda mostra-se satisfatório na representação da sua cor, mas o mesmo não acontece em cervejas avermelhadas e mais escuras onde o mesmo valor na escala EBC ou SRM é dado para cervejas visualmente diferentes graças a diferentes espectros de absorção e transmissão fora dos 430 nm. Este problema pode ser resolvido com a determinação paralela dos valores tristímulus, que requiere a especificação de todo o espectro de transmissão ou absorção e é, portanto, mais demorado (Shellhammer, 2009).

5.2.1 Método Espectrofotométrico

A espectroscopia pode ser entendida como o estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria, sendo que esta pode sofrer fenômenos de reflexão, refração, transmissão, absorção ou dispersão (Morris, 2015; Shellhammer, 2009). Já a espectrofotoscopia foca-se, em particular, no estudo desta interação cingindo-se à radiação da zona visível do espectro eletromagnético. Para tal, é utilizado um espectrofotómetro, tipicamente constituído por cinco componentes principais: (1) fonte de radiação, (2) monocromador, (3) porta-amostras, (4) detetor, e (5) indicador de sinal. De uma forma genérica, a fonte de radiação emite uma luz que é fracionada pelo monocromador nos vários comprimentos de onda que a compõem, sendo que apenas o comprimento de onda selecionado incide sobre a amostra. Somente a fração da luz que é transmitida chega ao detetor, que transforma esta informação num sinal elétrico posteriormente convertido pelo indicador de sinal num espectro de absorção ou transmissão (Morris, 2015).

Por norma, a energia da luz incidente na amostra (I_0) é mais intensa do que a luz que atravessa a amostra (I), pois, parte desta é absorvida. Como tal, dependendo da quantidade de energia absorvida, a transmitância pode variar entre 0% e 100%, sendo que quanto maior a absorção de luz, menor a energia transmitida. Assim, a transmitância a um dado comprimento de onda (λ) pode ser dada pela Equação 5.1.

$$T_\lambda = \frac{I}{I_0}$$

Equação 5.1 Transmitância (T), num dado comprimento de onda λ , com base na energia da luz incidente (I_0) e dissipada (I).

A absorvância, por sua vez, corresponde ao simétrico do logaritmo da sua transmitância num dado comprimento de onda (λ), pelo que estes espetros podem ser interconvertidos um no outro pelas expressões da Equação 5.2 e Equação 5.3.

$$A_\lambda = -\log(T_\lambda)$$

Equação 5.2 Absorvância (A) pela transmitância (T), num dado comprimento de onda λ .

$$T_{\lambda} = 10^{-(A_{\lambda})}$$

Equação 5.3 Transmissão (T) pela absorvância (A), num dado comprimento de onda λ .

Por sua vez, a quantidade de luz absorvida ou transmitida por uma determinada solução a um dado comprimento de onda (λ) depende da sua concentração (c) e da espessura atravessada pelo feixe de luz (l). Estas são as conclusões das leis de Lambert-Beer-Bouguer, vulgarmente designadas apenas por leis de Lambert-Beer, que são a base do fundamento da espectrofotometria (Lange, 2016; Morris, 2015). A primeira parte da lei, de Bouguer e Lambert, afirma que absorvância de uma solução, num dado comprimento de onda, é diretamente proporcional ao comprimento do percurso atravessado pelo feixe de luz. A segunda parte da lei, atribuída a Lambert e Beer, estabelece uma relação linear entre a absorvância de uma solução e a sua concentração (Lange, 2016). Ademais, a quantidade de luz absorvida ou transmitida depende ainda da capacidade da própria amostra em absorver luz a um determinado comprimento de onda, uma variável expressa pelo seu coeficiente de absorção molar (ϵ). No final, a Lei de Lambert-Beer, em ordem ao valor de absorvância (A), é expressa pela Equação 5.4, onde a absorvância é um valor adimensional e as outras variáveis ϵ , l e c são, tipicamente, expressas em litro por mole centímetro ($\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), centímetro (cm) e mole por litro ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), respetivamente (Lange, 2016; Morris, 2015).

$$A_{\lambda} = \epsilon \cdot l \cdot c ,$$

Equação 5.4 Lei de Lambert-Beer, onde A indica absorvância, ϵ o coeficiente de absorção molar, l a espessura atravessada pelo feixe de luz, e c a concentração da amostra.

Todavia, estas leis só são válidas perante a verificação de uma série de pressupostos (Shellhammer, 2009):

- A luz incidente tem de ser monocromática, isto é, composta apenas por um comprimento de onda selecionado;
- A luz incidente tem de ser colimada, isto é, com raios paralelos entre si, e atravessar a mesma distância;

- A amostra tem de ser homogénea e livre de partículas em suspensão que possam propiciar fenómenos de dispersão da luz.

Além disso, existe um limite de concentração para a qual a lei de Lambert-Beer é válida, isto é, a partir do qual deixa de existir uma proporcionalidade linear entre os valores de absorvância e concentração. Com isto, sabe-se que a região ótima para a determinação da absorvância é quando os seus valores se situam entre 0,5 e 1,0. Para concentrações superiores ao limite de linearidade observado no desvio da lei de Lambert-Beer, é necessário diluir a amostra (Lange, 2016; Morris, 2015).

Na cerveja, o método analítico para a determinação da cor por espectrofotometria, aprovado internacionalmente tanto pela EBC como ASBC, prevê, para o tipo de amostras que o requeiram, um procedimento prévio de termostatização da amostra à temperatura ambiente, descarbonatação e filtração (EBC Analytica, 2000). Estes tratamentos garantem que as leituras de absorvância ocorrem sem interferências de outros fatores, com a termostatização a evitar a condensação da amostra na cuvete, a descarbonatação a impedir fenómenos de refração e dispersão da luz, e a filtração a livrar qualquer turvação da amostra que pode levar a valores mais altos de absorvância e mais baixos de transmitância (Lange, 2016). A ausência de turvação nas amostras pode ser averiguada com a determinação adicional da absorvância a 700 nm e a verificação da condição $A_{700} \leq 0,039 \cdot A_{430}$ (Shellhammer, 2009).

5.2.1.1 Escala de Cor EBC e SRM

A determinação da cor da cerveja pelas escalas EBC e SRM depende da medição da absorvância da amostra a 430 nm. A seleção deste comprimento de onda foi algo hesitante pois a cerveja não possui apenas um comprimento de onda de máxima absorvância, variando bastante com o estilo de cerveja em causa como mostra a Figura 5.4 (Shellhammer & Bamforth, 2008; Shellhammer, 2009). De facto, a cerveja absorve muito bem a luz no espectro do violeta ao azul (400 nm a 480 nm) e moderadamente bem no espectro verde adjacente (480 nm a 540 nm), emitindo os comprimentos de onda restantes que estão na faixa do amarelo ao vermelho e que correspondem às cores a que os consumidores estão principalmente habituados (Shellhammer & Bamforth, 2008).

Por norma, nas determinações espectrofotométricas, seleciona-se o comprimento de onda com a cor complementar àquela transmitida pelo objeto. Na Europa, o estilo de cerveja mais abundante são as *American Pale Lager*, de cor amarelada, pelo que a EBC decidiu adotar como padrão a medição de absorvância a 430 nm uma vez que a cor violeta é complementar

com a cor amarela transmitida por esta cerveja. No Reino Unido, como o estilo dominante são as *American Amber Ale*, inicialmente admitiu-se a determinação da absorvância a 530 nm, mas, entretanto, foi alterado para o mesmo padrão de 430 nm (Koren, et al., 2020; Shellhammer, 2009).

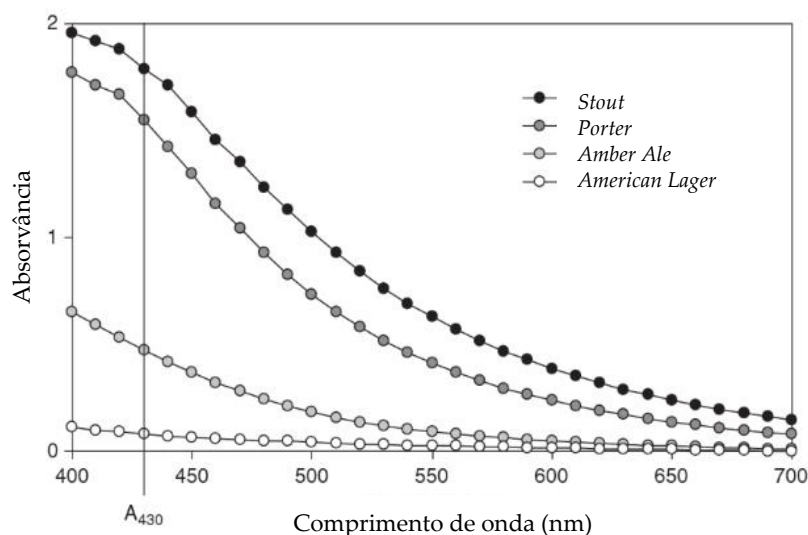


Figura 5.4 Espectro de absorvância de diferentes estilos de cerveja.
Adaptado de (Shellhammer, 2009).

No cálculo da cor em si, e utilizando-se para o efeito cuvets de vidro com 1 cm², o valor de absorvância obtido é multiplicado por 25 para a escala EBC ou por 12,7 no sistema SRM (Koren, et al., 2020; Shellhammer & Bamforth, 2008; Shellhammer, 2009), como mostram a Equação 5.5 e Equação 5.6.

$$Cor (EBC) = A_{430} \cdot 25$$

Equação 5.5 Determinação da cor, em EBC, pela absorvância a 430 nm e considerando-se cuvets de vidro com 1 cm².

$$Cor (SRM) = A_{430} \cdot 12,7$$

Equação 5.6 Determinação da cor, em SRM, pela absorvância a 430 nm e considerando-se cuvets de vidro com 1 cm².

Assim, os valores estabelecidos na escala EBC são aproximadamente o dobro daqueles considerados na escala SRM, uma observação visível na Figura 5.5 (Koren, et al., 2020; Lange, 2016; Shellhammer & Bamforth, 2008).



Figura 5.5 Representação visual das escalas de cor EBC e SRM, com destaque para alguns dos principais estilos de cervejas.

A escala EBC para a cor da cerveja compreende, de um modo genérico, valores entre 1 e 140 EBC que distinguem gradativamente todos os tons possíveis, desde o amarelo mais claro das cervejas *Lager*, passando pelo dourado, âmbar e vermelho de muitas *Ales*, incluindo o castanho das *Bock* e *Porter* e culminando no intenso preto das *Stout* (Shellhammer & Bamforth, 2008). Assim, a extremidade inferior da escala diz respeito a cervejas mais claras e a extremidade superior a cervejas mais escuras, sendo que a intensidade da cor das cervejas habitualmente mais apreciadas está entre 4 e 8 EBC, as mais douradas variam entre 10 e 18 EBC, e acima destes valores a cor transforma-se num vermelho-acastanhado até atingir o preto.

Como tal, é em torno destas especificações de cor que a indústria cervejeira se deve sustentar para assegurar a qualidade organolética da cerveja, satisfazendo, deste modo, as expectativas dos consumidores cada vez mais exigentes (Shellhammer, 2009).

5.3 Origens da Cor da Cerveja

A cor da cerveja deriva, essencialmente, das misturas de cereais incorporados na sua receita, sendo que maltes mais escuros contribuem para cores mais altas e maltes e cereais não maltados, tipicamente mais claros, para cores mais baixas. Quimicamente, a cor da cerveja depende ainda da ocorrência, durante o processo produtivo, de reações de escurecimento não enzimático e de reações de oxidação de polifenóis, sendo estas duas abordadas com detalhe nas secções seguintes (Gouvinhas et al., 2021; Humia, et al., 2019; Martinez-Gomez et al., 2020; Shellhammer & Bamforth, 2008; Wannenmacher et al., 2018). Em alguns casos, a cor da cerveja final pode ainda ser impactada com a adição de caramelos ou extrato de malte (Shellhammer & Bamforth, 2008).

5.3.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático

As reações de escurecimento não enzimático referem-se a um conjunto de reações químicas complexas que ocorrem em diversos géneros alimentícios, resultando na formação de pigmentos escuros e em possíveis modificações no seu sabor e aroma, estas últimas nem sempre desejáveis. Neste âmbito, as reações de *Maillard*, também conhecidas por reações de glicação ou simplesmente por reações de escurecimento não enzimático, são consideradas as mais relevantes na indústria alimentar, sendo que no processamento do malte e da cerveja não são exceção (Bohm et al., 2022; Hellwig et al., 2016).

Em tese, as reações de *Maillard* envolvem a interação de um grupo carbonilo de um açúcar redutor e um grupo amina de aminoácidos na forma livre, péptidos ou proteínas, todos estes constituintes dos próprios alimentos. Dependendo dos reagentes iniciais e das condições de ocorrência da reação, habitualmente favorecida a temperaturas superiores a 50 °C e a pHs entre 4 e 7, ocorre a formação de diversos produtos intermediários que culminam na formação de diferentes produtos finais que tendem a variar na sua estrutura química, grau de polimerização e outras propriedades (Coghe et al., 2004). Esta complexidade é traduzida numa série de vias de reação que podem ser genericamente divididas em três estágios:

i. Fase Inicial

A reação de *Maillard* é iniciada por uma reação de condensação entre um grupo carbonilo e um grupo amino livres (Coghe et al., 2004; Hellwig et al., 2018). O primeiro grupo inclui-se em açúcares redutores, essencialmente monossacáridos como a glucose e frutose, e dissacáridos como a maltose. Por norma, estes açúcares tendem a estar acoplados a outras moléculas, pelo que é necessária a quebra da ligação glicosídica. Quanto ao último grupo, tanto as aminas primárias como secundárias podem reagir, podendo estar presentes na forma livre de aminoácidos, péptidos ou proteínas (Hellwig et al., 2016).

Quimicamente, e como esquematizado na Figura 5.6, o grupo carbonilo do açúcar redutor reage quer com os grupos α -amino de aminoácidos livres e péptidos, com o grupo imino da prolina livre ou com o grupo ϵ -amino da lisina, sendo que este último tende a ser o mais reativo (Ferreira & Guido, 2018). Com isto, dá-se a eliminação de uma molécula de água e a formação reversível de uma base de *Schiff*. À custa da instabilidade deste produto, ocorrem rearranjos espontâneos e a formação de um composto cetoamina mais estável denominado de produto de rearranjo *Amadori* (ARP, de *Amadori Rearrangement Product*) (Coghe et al., 2004). Os ARPs mais comuns no malte e na cerveja são o N- ϵ -fructosilisina e N- ϵ -maltulosilisina, formados a partir de glucose e maltose como sendo os açúcares mais abundantes no malte e no mosto (Bohm et al., 2022; Hellwig et al., 2016).

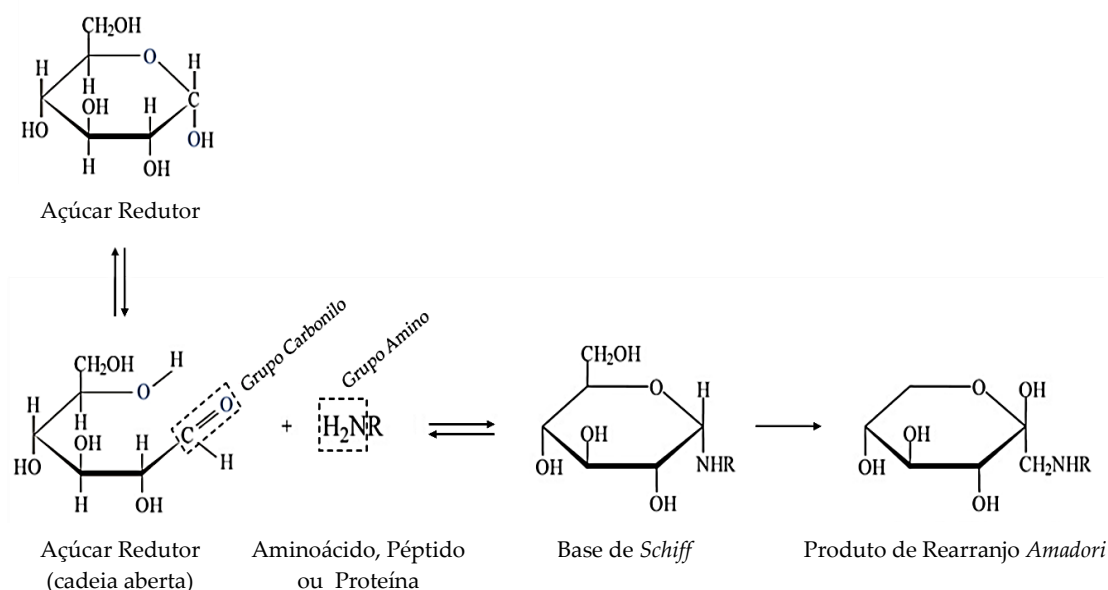


Figura 5.6 Reação entre um açúcar redutor e um aminoácido, péptido ou proteína que ocorre na fase inicial da reação de *Maillard*.

ii. Fase Intermediária

Numa fase intermédia da reação de *Maillard* ocorre a degradação dos ARPs com a formação de compostos 1,2-dicarbonilo, como o glioxal, metilglioxal, glucosona e derivados (Hellwig et al., 2018). Estas moléculas têm um baixo peso molecular e são responsáveis pela formação e estabilidade de *off-flavours* na cerveja (Ferreira & Guido, 2018). Nesta reação, são ainda libertados grupos amino, que tendem a reagir na fase final das reações de *Maillard* (Ferreira & Guido, 2018).

Vale notar que estes compostos dicarbonilos podem também ser formados diretamente a partir de açúcares redutores por reações de caramelização (Hellwig et al., 2016; Hellwig & Henle, 2020).

iii. Fase Final

Numa fase terminal da reação de *Maillard*, também quimicamente irreversível como a fase antecedente, são formados os produtos finais de glicação avançada (AGEs, de *Advanced Glycation End-products*) que, dada a sua natureza muito diversificada, tendem a ser distinguidos com base nas suas funções biológicas e fisiológicas. Os AGEs são formados a partir da reação dos compostos 1,2-dicarbonilo com grupos amino. Na cerveja, destacam-se os aminoácidos glicosilados pirralina e hidroimidazolona, derivados do metilglioxal (Bohm et al., 2022).

Nesta fase, também pode ocorrer uma reação de degradação de *Strecker*, onde os compostos dicarbonilo também reagem com aminoácidos. Aqui, os dicarbonilos são transformados em aminocetonas que podem condensar e formar derivados de pirrazina, o grupo de substâncias de *flavour* mais importantes em química alimentar (Coghe et al., 2004). Já os aminoácidos são convertidos nos respetivos aldeídos, com menos um carbono que o aminoácido que lhe deu origem (Hellwig et al., 2018). Estes compostos, comumente designados de aldeídos de *Strecker*, também são importantes compostos voláteis responsáveis por grande parte do *flavour*, sendo os mais conhecidos o 2-metilpropanal (derivado da valina), 2-metilbutanal (derivado da isoleucina), 3-metilbutanal (derivado da leucina), metional (derivado da metionina) e fenilacetaldeído (derivado da fenilalanina) (Coghe et al., 2004; Ferreira & Guido, 2018). Estas reações de degradação tendem a ocorrer na presença de altas concentrações de aminoácidos livres e em condições de elevadas pressões e temperaturas (Coghe et al., 2004).

Após a ocorrência de variadas reações, incluindo ciclizações, desidratações, retroaldolizações, rearranjos, isomerizações e condensações, a reação de *Maillard* culmina com a formação de melanoidinas (Gresser, 2009), como mostra a Figura 5.7. De todos os possíveis produtos finais desta reação, são estes compostos, à semelhança dos cromóforos de baixo peso molecular, que têm um forte impacto na cor do produto pela sua pigmentação acastanhada (Bohm et al., 2022; Coghe et al., 2004; Ferreira & Guido, 2018).

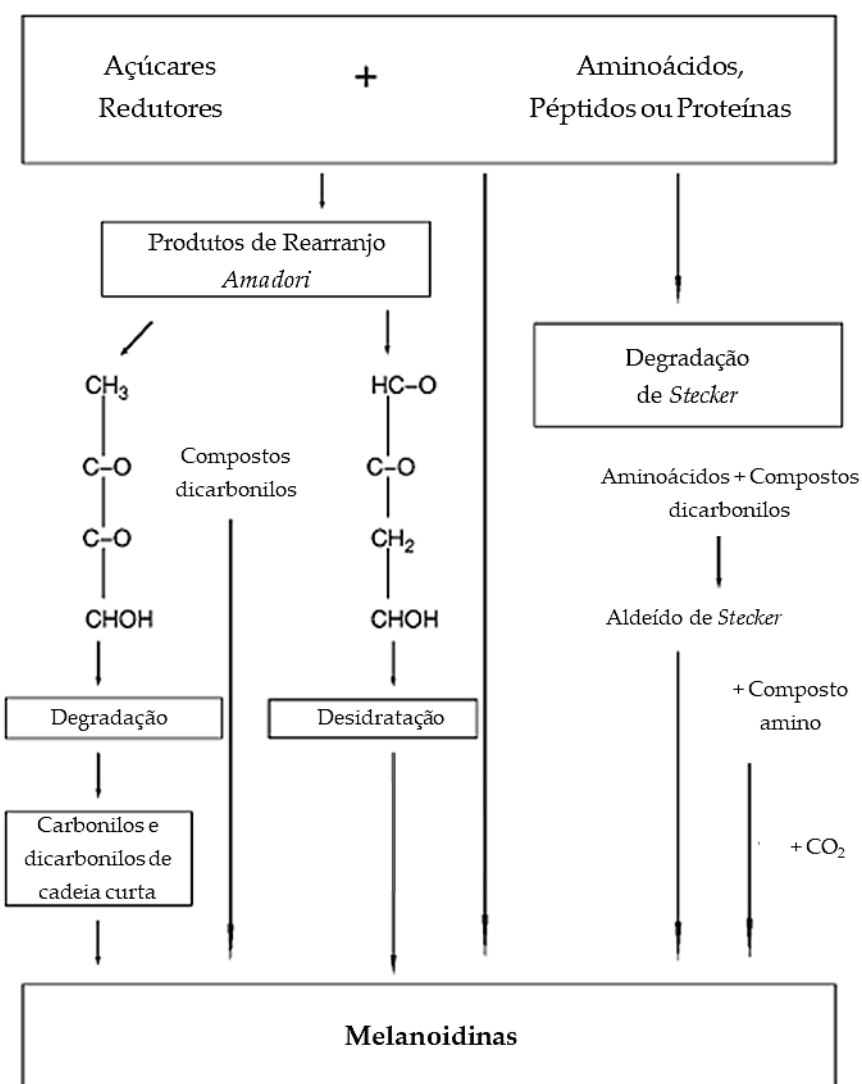


Figura 5.7 Esquema da formação de melanoidinas pela reação de *Maillard*. Adaptado de (Gresser, 2009).

Apesar de poderem ter um contributo positivo em vários aspetos organoléticos de muitos géneros alimentícios, a ocorrência das reações de *Maillard* leva a uma perda inevitável

do valor nutritivo do produto, dado que inativam biologicamente alguns aminoácidos e açúcares. Alguns autores defendem ainda que os produtos da reação de *Maillard* podem ter efeitos prejudiciais à saúde, incluindo uma ação mutagénica, carcinogénica e citotóxica. Esta teoria é, no entanto, contrariada por outros que defendem a atividade antioxidante e antimutagénica de certos compostos de *Maillard* (Coghe et al., 2004).

Os principais fatores a ter em conta, e que têm influência na extensão destas reações, são a temperatura, o tempo, atividade da água (a_w), concentração e tipo de substratos, pH e a presença de compostos sulfurosos (Coghe et al., 2004). Estas relações são explicadas adiante:

- **Binómio tempo/temperatura:** dada a elevada energia de ativação necessária para desencadear estas reações, as mesmas tendem a ser favorecidas a temperaturas acima de 50 °C. Além disso, dependem positivamente do aumento de temperatura, sendo que a taxa de ocorrência pode aumentar em mais de 10% pela subida de cada 1 °C até aos 100 °C. A extensão destas reações também será tanto maior quanto o tempo na qual as condições de ocorrência estiverem reunidas;
- **A_w :** a água tende a dissolver ou diluir os reagentes, pelo que quanto maior a quantidade de água, menor a extensão destas reações. Além disso, visto que as reações de *Maillard* libertam água, uma maior presença de água leva a uma diminuição da taxa de reação. A a_w ótima para estas reações é entre 0,65 e 0,70;
- **pH:** o pH do meio influencia não só a extensão da reação, como a direção que a mesma toma, podendo gerar diferentes produtos. Por norma, o favorecimento da reação é baixo a pHs ácidos e aumenta com a subida do pH até, no máximo, 10. Isto acontece, pois, o pH altera a composição dos grupos laterais dos compostos amins, sendo que a pHs baixos os compostos estão protonados e são menos reativos e a pHs mais altos estão desprotonados e não têm iões H^+ para reagir;
- **Reagentes:** os compostos de baixo peso molecular tendem a ser mais reativos. Dentro dos açúcares, as aldopentoses tendem a ser mais reativas que as aldohexoses, e os monossacáridos mais reativos que os di- ou oligossacáridos. Ademais, as aldoses parecem ser mais reativas que as cetoses. Quanto aos aminoácidos, estes podem gerar produtos com diferentes graus de coloração. O escurecimento mais intenso provém da lisina, glicina, triptofano e tirosina, e o menos intenso da histidina, arginina, ácido aspártico e glutâmico, serina, treonina e cisteína. Os

restantes produzem produtos de coloração intermédia. Além da sua natureza, o rácio destes dois reagentes também impacta a ocorrência destas reações, sendo o escurecimento máximo quando o açúcar está em excesso;

- **Compostos sulfurosos:** estes compostos, tais como dióxido de enxofre, sulfitos e tióis, são inibidores destas reações pois tendem a reagir com os açúcares redutores e formar compostos não coloridos.

Não obstante a grande importância das reações de *Maillard*, as reações de escurecimento não enzimáticas incluem também as reações de pirólise e caramelização. A pirólise consiste na degradação de moléculas de açúcares a temperaturas muito elevadas, por norma, superiores a 200 °C. Esta energia térmica é suficiente para quebrar ligações entre carbonos, e resulta em produtos de cor escura e com um *flavour* tipicamente a queimado. Comumente, é utilizado o termo “carbonização” para este fenómeno. A caramelização é menos drástica que a pirólise, ocorrendo a temperaturas superiores a 120 °C, e também consiste na conversão de açúcares em compostos com pigmentação escura e de *flavour* característico. O pH ótimo de ocorrência é entre 3 e 9, ocorrendo tanto em condições ácidas como alcalinas. Quimicamente, é semelhante às reações de *Maillard*, com a diferença de que não integra compostos aminados (Coghe et al., 2004).

5.3.1.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático no Processo Cervejeiro

No processo cervejeiro, existem diversas etapas que levam à formação ou degradação de produtos da reação de *Maillard*. A principal fonte destes produtos na cerveja é o malte, embora diversas etapas no processo cervejeiro tenham também um forte impacto na sua quantidade e diversidade, principalmente na fervura do mosto (Hellwig & Henle, 2020). A cevada, por si só, não contém muitos compostos coloridos, pelo que a cor característica do malte apenas surge no processo de maltagem. De facto, durante esta etapa, principalmente na secagem do malte, são produzidos muitos ARPs e AGEs, incluindo melanoidinas. A quantidade de açúcares redutores e aminoácidos existentes depende da humidade que o grão ganhou na fase de molha e da extensão da fase de germinação. Quanto maior a humidade do grão, maior a taxa de germinação e maior a disponibilidade destes precursores da reação de *Maillard*. Durante a germinação, vai ocorrer a ação enzimática de proteases e amilases, havendo a disponibilização de aminoácidos e açúcares para consumo do embrião e como reagentes para estas mesmas reações (Shellhammer & Bamforth, 2008). Para a obtenção dos

maltes com as características de qualidade desejadas, a intensidade das reações de *Maillard* pode ser controlada por diversas estratégias. Na primeira fase da secagem, a temperaturas que rondam os 50 °C a 60 °C, a atividade enzimática está ativa e ocorre a libertação de mais precursores das reações. Na segunda parte da secagem, a temperaturas que rondam os 80 °C, ocorrem as reações de *Maillard* que contribuem para a cor e *flavour* do malte (Shellhammer & Bamforth, 2008). Enquanto as reações de *Maillard* podem ocorrer no fabrico de todo o tipo de malte, dadas as condições ideais, as reações de caramelização e pirólise são específicas do processo de torra, onde as condições de temperatura são mais extremas e atingem os 220 °C (Coghe et al., 2004). Aqui, além de melanoidinas, são formados ainda pirroles e pirrazinas, assim como ocorre a degradação de açúcares e ácidos fenólicos, que contribuem tanto para a cor como para o *flavour* (Shellhammer & Bamforth, 2008). Tipicamente, os maltes mais claros, como o *Pilsen*, são caracterizados por compostos coloridos de baixo peso molecular, enquanto o malte torrado tende a conter mais compostos coloridos de alto peso molecular (Martinez-Gomez et al., 2020). Ainda assim, não parece existir uma correlação direta entre a cor do malte e o conteúdo em específicos AGEs (Coghe et al., 2004; Hellwig & Henle, 2020). À semelhança, nenhuma correlação foi também identificada entre o conteúdo de produtos da reação de *Maillard* e o estilo da cerveja (Coghe et al., 2004).

No fabrico do mosto, é a sua composição nos diversos tipos de malte que determina em grande escala a cor da cerveja final. As altas temperaturas que se fazem sentir nas caldas, empastagem e, principalmente, na fervura, também contribuem para um ganho de cor pela ocorrência de reações de *Maillard*, embora por norma não muito significativo (Bohm et al., 2022). A extensão destas reações e da consequente formação de melanoidinas depende do tempo, temperatura, pH do mosto e concentrações de FAN e açúcares (Shellhammer & Bamforth, 2008). Na fervura, os aminoácidos e compostos dicarbonilos podem inclusive sofrer degradação de *Strecker*. De notar que alguns dos produtos desta reação podem ser acumulados no *trub* e posteriormente removidos aquando da clarificação do mosto (Bohm et al., 2022).

A fermentação também tem impacto nestes produtos, pois a levedura é capaz de transformar aminoácidos livres em álcoois de alto peso molecular, como a pirralina e formilina, que são também possíveis produtos da reação de *Maillard*, mas que não contribuem para uma cor acastanhada. Altos níveis de produtos de *Maillard* na fase de fermentação tende a diminuir a atenuação, isto é, diminui a conversão dos açúcares fermentescíveis em álcool pela levedura (Coghe et al., 2004).

5.3.2 Oxidação de Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos têm origem no metabolismo secundário das plantas, pelo que, ao contrário dos metabolitos primários, não são vitais ao seu crescimento e desenvolvimento. Ainda assim, são produzidos como um sistema de defesa por parte da planta contra alguns fatores bióticos (como agentes patógenos bacterianos, fúngicos, insetos e seres herbívoros) e abióticos (como deficiências nutricionais e condições de temperatura, humidade e luminosidade desfavoráveis), desempenhando um papel crucial na adaptação da planta ao ambiente envolvente e na sobrevivência e perpetuação da espécie (Crozier et al., 2006; Wannenmacher et al., 2018).

Quimicamente, os compostos fenólicos são caracterizados pela presença de, pelo menos, um anel aromático com um ou mais grupos hidroxilo diretamente ligados. Esta estrutura base, representada na Figura 5.8, também é conhecida por grupo fenol (Crozier et al., 2006).

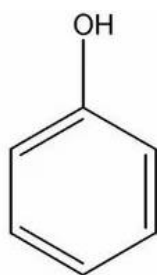


Figura 5.8 Estrutura base de um composto fenólico, também conhecida como grupo fenol.

A importância destes compostos na cerveja prende-se com o facto de impactarem alguns atributos sensoriais como o *flavour*, conferindo alguma adstringência e amargor, e a cor. A sua conhecida capacidade antioxidante também contribui para a estabilização oxidativa da bebida, levando ao aumento do seu tempo de prateleira. Além disso, os polifenóis são, em parte, responsáveis pela turvação graças à facilidade de interação com proteínas e formação de complexos insolúveis. Como este atributo não é desejado na grande maioria das cervejas, os polifenóis podem atuar como alvos de alguns agentes auxiliares de filtração. O PVPP, em particular, possui uma alta afinidade aos polifenóis, permitindo, assim, a remoção destes

compostos por adsorção e a estabilização coloidal do produto final (Humia, et al., 2019; Martínez-Gomez et al., 2020; Wannenmacher et al., 2018).

Na indústria cervejeira, os compostos fenólicos derivam essencialmente das suas matérias-primas de origem vegetal, nomeadamente dos cereais, malte e lúpulo (Gouvinhas et al., 2021; Humia, et al., 2019; Martínez-Gomez et al., 2020; Wannenmacher et al., 2018; Zhao et al., 2010). Nos cereais e no malte, estes compostos encontram-se maioritariamente na casca e na camada de aleurona, sendo a sua concentração tanto superior quanto a presença de fibras polissacáridas, como β -glucanos e arabinoxilanos, às quais se tendem a ligar. Já no lúpulo, os polifenóis tendem a ser abundantes nas flores (Wannenmacher et al., 2018).

Apesar do lúpulo naturalmente conter um teor de polifenóis superior ao malte, representando cerca de 4% da sua massa seca em relação aos 0,0005 – 0,001% da massa seca de malte, é este último a fonte mais significativa destes compostos na cerveja dado que é adicionado em quantidades muito mais vultosas. De facto, cerca de 75% dos compostos fenólicos da cerveja derivam do malte e apenas os restantes 15% do lúpulo (Gouvinhas et al., 2021; Humia, et al., 2019; Martínez-Gomez et al., 2020; Wannenmacher et al., 2018).

O perfil quantitativo e qualitativo dos polifenóis na cerveja tende a variar, primeiramente, com a proporção das diversas matérias-primas previstas na receita, bem como com a sua composição intrínseca. Esta, por sua vez, está diretamente dependente da variedade e das condições de cultivo. De entre a vasta gama de compostos que englobam os polifenóis, aqueles mais frequentemente reportados na cerveja incluem os ácidos fenólicos e flavonoides, maioritariamente extraídos do malte e do lúpulo, respetivamente. A estes, seguem-se os taninos, proantocianidinas e compostos amino-fenólicos (Gouvinhas e Barros, 2021; Humia et al., 2019; Wannenmacher et al., 2018).

Em maior pormenor, Zhao et al. (2010) revelou que os principais polifenóis identificados em cervejas comerciais eram os flavonoides (-)-epicatequina e (+)-catequina, e os ácidos fenólicos gálico, cafeico, protocatecuico, vanílico, ferúlico, cumárico e siríngico. Destes, o ácido gálico e ferúlico representavam mais de metade do conteúdo total em compostos fenólicos, sendo amplamente reportados na cerveja em diversos outros estudos (Zhao et al., 2010; Martínez-Gomez et al., 2020). Considerando o panorama nacional, o perfil fenólico de algumas cervejas portuguesas foi caracterizado com um alto teor de ácido gálico, ácido siríngico, camferol, galocatequina e epicatequina, e um baixo teor de ácido vanílico, ferúlico e cafeico, quercetina e rutina. Para além destes principais compostos fenólicos na cerveja, vale destacar a presença, em menor escala, do flavonoide xanthohumol por ser naturalmente

exclusivo das flores de lúpulo. Esta temática continua a ser um grande alvo de estudos, levando a que tenham sido descobertos uma maior diversidade de compostos fenólicos na cerveja (Gouvinhas & Barros, 2021).

No entanto, estes perfis são dinâmicos ao longo de todo o processo produtivo da cerveja, durante o qual os polifenóis tendem a sofrer inúmeras modificações químicas tais como oxidação. Em particular, o escurecimento induzido pela oxidação de polifenóis pode dividir-se num processo enzimático ou não enzimático. O primeiro envolve a presença de enzimas oxidoredutases, como as peroxidases e polifenoloxidasas, cuja reação resulta na formação de uma quinona altamente reativa e que pode interagir com outros compostos (Billaud, et al., 2000). Durante o processo de escurecimento não enzimático, que ocorre na presença de oxigénio e alguns iões metálicos, os compostos fenólicos são igualmente oxidados a quinonas que são posteriormente polimerizadas ou combinadas com aminoácidos e proteínas, resultando em macromoléculas de cor acastanhada das quais se destacam as catequinas, flavonas, antocianidinas e taninos (Esslinger & Narziss, 2005)

É importante notar que níveis mais altos de compostos fenólicos não afetam necessariamente a cor da cerveja, somente após processos oxidativos é que são gerados compostos coloridos (Jaskula-Goiris et al., 2014).

5.3.2.1 Oxidação de Compostos Fenólicos no Processo Cervejeiro

Ao longo das diferentes etapas do processo cervejeiro, tanto o nível de extração dos compostos fenólicos como a extensão de possíveis transformações vão variando. Na maltagem, os polifenóis presentes na casca e na camada de aleurona do cereal tendem a ser extraídos pela água aquando da etapa primária da molha. Esta perda de compostos fenólicos é compensada pelo aumento que ocorre durante as etapas seguintes de germinação e secagem do malte. Na germinação, o conteúdo fenólico tende a aumentar pois estes compostos estão associados ao sistema de defesa natural do embrião, que se encontra em desenvolvimento. Ademais, a produção de enzimas hidrolíticas e a degradação das paredes celulares da camada de aleurona vai permitindo a libertação destes compostos, sendo tanto maior quanto a temperatura de germinação. De notar que existe uma ação sinérgica entre a produção de celulasas e α -amilases e a produção de esterases, as enzimas que são responsáveis pela libertação dos polifenóis das paredes celulares. Já a secagem contribui para o aumento da friabilidade do grão e, por consequência, da capacidade de extração destes compostos que ficam mais expostos à atividade enzimática ligeiramente ativada pelas temperaturas iniciais

que se fazem sentir nesta etapa. Com as temperaturas mais elevadas da fase final da secagem, os ácidos fenólicos podem sofrer degradação térmica e, inclusive, podem reagir com alguns produtos resultantes das reações de *Maillard*, pelo que a sua concentração tende a diminuir. Deste modo, é de esperar que os maltes mais escuros possuam um menor teor de ácidos fenólicos em comparação com os maltes mais claros. Comparativamente aos cereais que lhe deram origem, o malte tem, por norma, um maior conteúdo polifenólico (Martinez-Gomez et al. 2020, Wannenmacher et al., 2018).

Neste âmbito, Cai et al. (2015) estudou a relação entre o conteúdo fenólico do malte com os seus principais parâmetros de qualidade. Aqui, mostrou que o teor de polifenóis está positivamente correlacionado com o teor em azoto solúvel, o que mostra a influência das enzimas hidrolíticas na extração dos polifenóis do malte, e está negativamente associado com a viscosidade e extrato do malte, pois estas implicam uma menor proporção de casca e camada de aleurona em relação ao endosperma. Pela mesma lógica, quanto maior a modificação do malte, maior a quantidade de ácidos fenólicos que contém (Cai, et al., 2015).

Já no próprio processo de fabrico de cerveja, a moagem do malte também pode influenciar o teor de polifenóis dado que um maior grau de moagem irá permitir uma maior exposição dos compostos fenólicos presentes nas camadas exteriores do grão. Estes compostos serão posteriormente extraídos, por ação da água e das enzimas, durante as etapas de caldas e empastagem. Nestas, o teor de polifenóis irá depender, essencialmente, do calibre dos grãos de cereais e malte, da densidade da mistura e do binómio tempo/temperatura. Assim, a extração destes compostos ocorre idealmente a partir de grãos mais finos, empastes densos e à temperatura ótima de atuação das enzimas, que rondam os 60 °C. Numa fase posterior, parte dos ácidos fenólicos que continuam retidos nos grãos de cereais maltados ou não maltados, pode ser posteriormente recuperada aquando da lavagem do mosto na etapa de filtração, sendo esta uma das etapas mais críticas na extração de polifenóis (Eßlinger & Narziss, 2005. Wannenmacher et al., 2018).

Na ebulição do mosto, tanto o conteúdo como a composição de polifenóis são alterados com a adição de lúpulo, seja sob a forma tradicional, *pellets*, extratos ou produtos isomerizados. Estas diferentes formas de incorporação têm também impacto no tipo e quantidade de polifenóis adicionados. Os *pellets*, por exemplo, podem ser produzidos com diferentes graus de lupulina, e a secagem e trituração das flores pode contribuir para uma perda no conteúdo de polifenóis (Eßlinger & Narziss, 2005). Nos extratos, o conteúdo nestes compostos depende do solvente utilizado, comumente etanol, CO₂ líquido ou CO₂ supercrítico. Em todos os casos,

o nível de α -ácidos é semelhante, mas o CO₂ é mais específico para extrair resinas macias e óleos essenciais do que o etanol, que extrai com mais facilidade resinas duras. Além da influência da incorporação desta matéria-prima, as altas temperaturas que se fazem sentir na fervura também podem favorecer a ocorrência de reações de oxidação e polimerização, bem como interações com proteínas, formando-se compostos que precipitam e são separados do mosto no *trub* (Eßlinger & Narziss, 2005; Shellhammer & Bamforth, 2008).

Ainda nesta temática, o próprio malte contém algumas enzimas oxidoreduções que também contribuem para a oxidação destes compostos fenólicos, nomeadamente as peroxidases e polifenoloxidasas. Estas enzimas têm um pH ótimo de atuação de 6,5 e temperaturas que rondam os 45 °C a 60 °C. Estas reações de oxidação mediadas por enzimas podem ocorrer durante a germinação, a secagem do malte e nas caldas e empastagem, etapas nas quais se observam as condições ótimas descritas. Aqui, um estudo revelou que o impacto da ação da polifenoloxidase na coloração do empaste era negligenciável, embora a peroxidase esteja mais ativamente envolvida na oxidação e polimerização de compostos fenólicos contribuindo para a cor do mosto (Billaud, et al., 2000).

Também as etapas posteriores de fermentação e guarda levam a uma diminuição do conteúdo de polifenóis, seja por adsorção às paredes celulares das leveduras ou precipitação por temperaturas baixas. Na filtração, os polifenóis podem ficar retidos nas próprias placas celulósicas dos filtros e nos agentes auxiliares de filtração frequentemente utilizados, como o *kieselguhr* e PVPP. No produto final, o decréscimo destes compostos mantém-se e a perda mais substancial ocorre nos primeiros 3 meses de armazenamento, confirmando o poder antioxidante destes compostos (Wannenmacher et al., 2018).

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a concretização do principal objetivo deste trabalho, que se prende com a redução de falhas de cor ao longo do processo de produção de cerveja, tem foco nos princípios da filosofia TPM *Next* como o Modelo de Gestão Produtiva Total implementado na SCC. Em particular, a temática da cor da cerveja está inserida, entre outros, no Pilar de Gestão Autónoma da Fabricação de Cerveja, devidamente alinhada com um dos seus propósitos que visa a adoção de tarefas de monitorização da qualidade pelos operadores do chão de fábrica. Esta é uma prática sustentada pelo cumprimento do Passo 5 da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada, integrante da mesma filosofia, que culmina com o estabelecimento de possíveis ações de melhoria e acompanhamento do desempenho dos seus resultados. Esta estratégia envolveu a recolha e análise da cor de amostras de malte e misturas de malte *Pilsen* e torrado, o último tipicamente designado de carafa, bem como de mosto quente, mosto arrefecido e de cerveja filtrada. Consoante o tipo de amostra, estas podem ser sujeitas a diferentes procedimentos de preparação, sendo que, no final, a análise da cor deve dar-se preferencialmente por espectrofotometria. Para a garantia de controlo do processo, estes resultados de cor devem respeitar os respetivos intervalos de especificação.

6.1 Modelo de Gestão Produtiva Total na SCC

O modelo de Gestão Produtiva Total implementado na SCC, denominado de TPM *Next*, está organizado em sete pilares fundamentais com foco em toda a cadeia de abastecimento, desde a preocupação com a qualidade das matérias-primas, com o Pilar de

Valorização dos Fornecedores; passando pela garantia da excelência do próprio processo de fabricação e enchimento de cerveja, com os Pilares de Gestão Autónoma (GA) da Fabricação de Cerveja, do Enchimento e das Utilidades; não esquecendo a logística inerente ao processo, com os Pilares de Planeamento e de Armazenamento e Transporte; e culminando com a atenção às exigências do consumidor, com o Pilar de Valorização do Cliente. Estes principais pilares são fortemente suportados por outros sete pilares transversais e a sua garantia de sucesso assenta na aplicação de uma série de ferramentas base que auxiliam na concretização da filosofia TPM, muitas delas já abordadas na secção 3.2.1 Ferramentas Auxiliares. Ademais, é de realçar a orientação dada pelo Pilar da Equipa de Liderança que inclui todas as responsabilidades do líder de cada pilar central e fornece direção e apoio na execução das mais diversas tarefas (Heineken, 2018 a). Toda esta organização está representada na Figura 6.1.



Figura 6.1 Organização dos Pilares do modelo de Gestão Produtiva Total da SCC, denominado TPM Next.
Adaptado de (Heineken, 2018 a).

Na prática, esta estruturação da metodologia TPM Next incita à constituição de uma equipa multidisciplinar para cada pilar fundamental, que deverá ser responsável pela resolução dos vários problemas que vão surgindo nas diferentes áreas e pela procura constante de oportunidades de melhoria. É a concretização gradativa de variadas ações de melhoria que vai contribuindo para o avanço do nível de maturidade de cada pilar, sendo que estas tarefas

devem seguir rotas já predefinidas pela metodologia que orientam o alcance dos objetivos previamente delineados para cada etapa de cada pilar.

No presente trabalho, o foco centrou-se no Pilar de GA da Fabricação de Cerveja, cuja estrutura é pormenorizada na próxima secção 6.1.1 Pilar de Gestão Autónoma da Fabricação de Cerveja.

6.1.1 Pilar de Gestão Autónoma da Fabricação de Cerveja

O Pilar de GA da Fabricação de Cerveja está organizado em várias etapas sequenciais, numeradas de zero a quatro, onde cada uma compreende um objetivo principal associado à concretização de diversas tarefas que visam a resolução de determinados problemas ou a otimização de áreas específicas relacionadas com a produção de cerveja. Neste Pilar, as ações de melhoria implementadas devem obedecer à Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP), seguindo os diferentes Passos consoante a etapa em que se encontra o Pilar. De notar que a cada etapa do Pilar está ainda atribuída uma escala de apreciação que avalia o seu nível de maturidade, que pode ser de nível Base, Avançado ou Classe Mundial (Heineken, 2018 a). Toda esta estrutura está esquematizada na Figura 6.2.

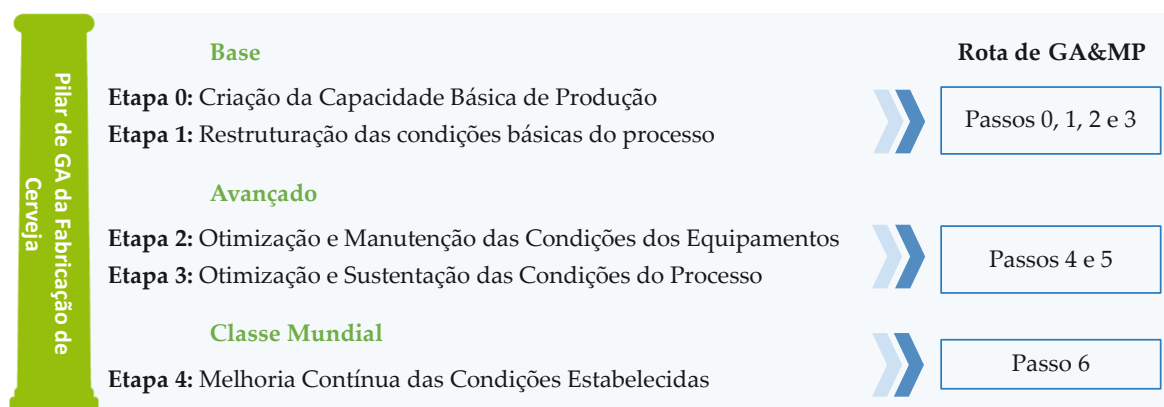


Figura 6.2 Estrutura do Pilar de Gestão Autónoma (GA) da Fabricação de Cerveja da filosofia TPM *Next* seguida na SCC, com os Passos da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP).

Adaptado de (Heineken, 2018 a).

Atualmente, para este Pilar, a SCC encontra-se a implementar a etapa referente à "Otimização e Manutenção das Condições dos Equipamentos" e equivalente ao nível de Avançado, o que exige a concretização dos Passos 4 e 5 da rota de GA&MP. Em particular, estes passos sustentam a transferência de tarefas de manutenção e qualidade, respetivamente,

para os operadores do chão de fábrica, dando-lhes mais responsabilidade para reagir ao processo. Estes e os restantes Passos desta rota são melhor desenvolvidos na secção seguinte 6.1.1.1 Rota de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada.

6.1.1.1 Rota de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada

A rota de GA&MP é constituída por Passos sequenciais, numerados de zero a seis, que, como mostra a Figura 6.3, visam a compreensão das máquinas e equipamentos para a minimização de falhas, avarias e acidentes, apontam para a melhoria dos indicadores de qualidade, e aspiram o comprometimento e desenvolvimento pessoal dos colaboradores envolvidos (Heineken, 2018 b).

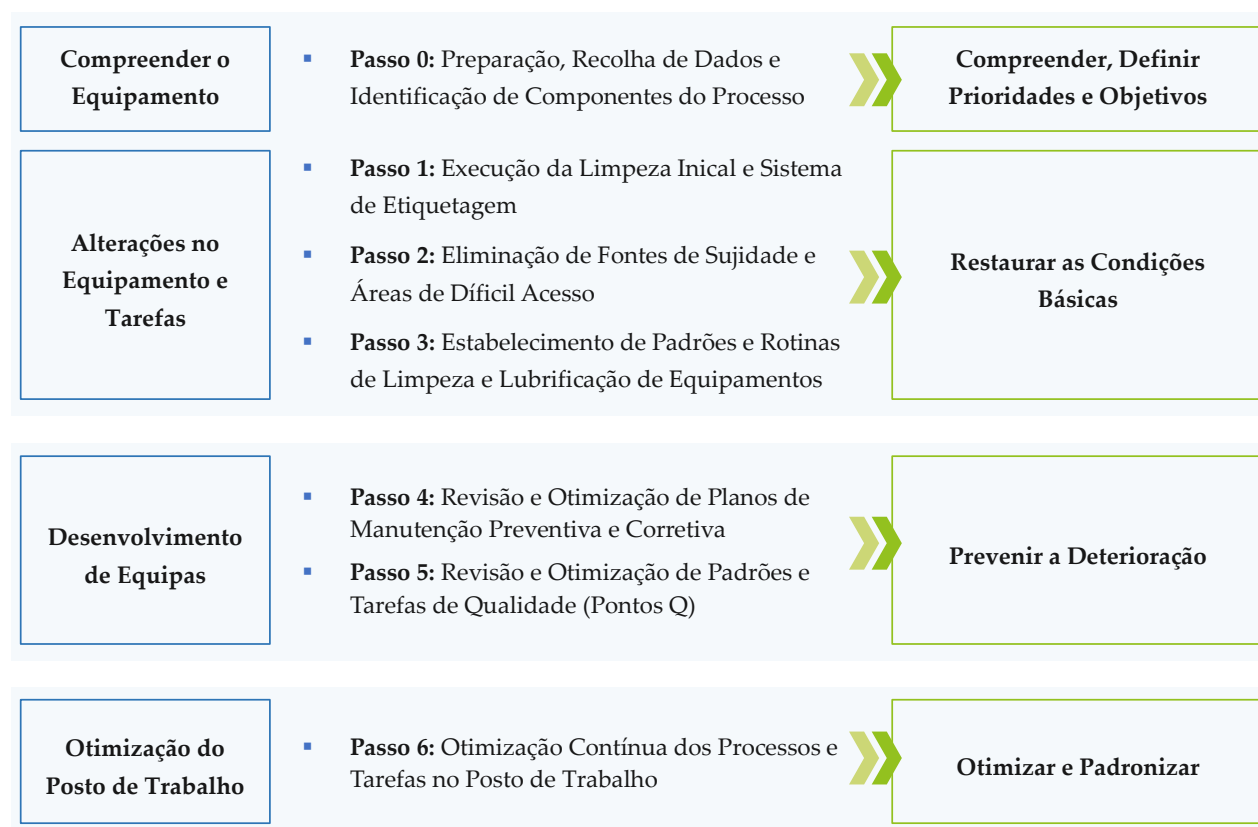


Figura 6.3 Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP) da filosofia TPM Next seguida na SCC. Adaptado de (Heineken, 2018 b).

Esta rota tem sido implementada na SCC desde 2018 e mostra já resultados muito positivos em padrões de segurança, higiene, limpeza, inspeção e lubrificação dos equipamentos, em virtude da implementação com êxito dos Passos 0, 1, 2, 3 e 4. Atualmente, a SCC encontra-se a implementar o Passo 5, intitulado de "Revisão e Otimização de Padrões e

Tarefas de Qualidade", que requer o desenvolvimento de uma equipa e se foca na identificação de parâmetros específicos de um processo com condições para prevenir defeitos de qualidade. Estes pontos são denominados de pontos críticos de qualidade ou simplesmente de pontos Q, e podem incluir partes físicas e componentes de máquinas e equipamentos, cuja deterioração ou ajustes incorretos tenham uma influência direta nos defeitos de qualidade, ou podem dizer respeito às próprias especificações do processo e materiais. Deste modo, a sua identificação constitui um sistema que facilita a transferência de tarefas de qualidade para os técnicos e operadores do processo, que já estão familiarizados com as demais atividades de manutenção (Heineken, 2018 b). É, inclusive, na implementação deste Passo que está o principal foco deste trabalho, tendo sido criada uma equipa centrada no parâmetro de qualidade referente à cor da cerveja.

Para uma melhor compreensão da estrutura do desenvolvimento do trabalho, é importante detalhar a rota específica de implementação do Passo 5 da rota de GA&MP.

6.1.1.1.1 Rota de Implementação do Passo 5

De modo a facilitar a sua implementação, é possível subdividir a concretização do Passo 5 da rota de GA&MP em cinco etapas, resumidas na Figura 6.4 e aprofundadas de seguida:

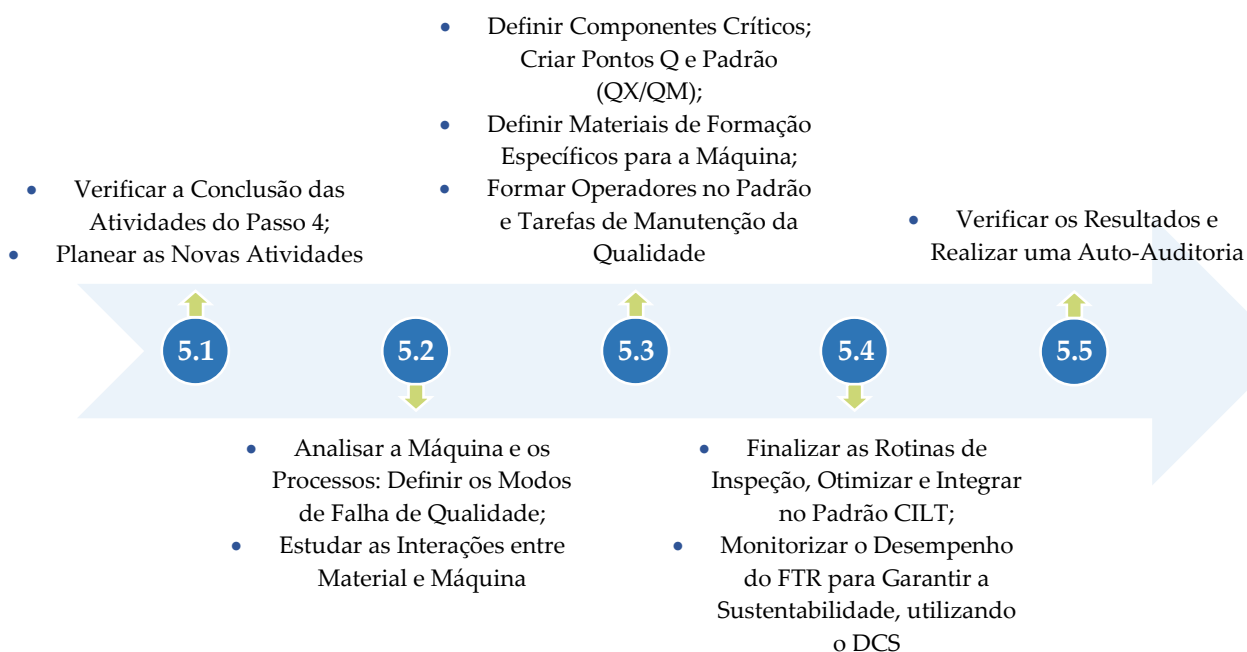


Figura 6.4 Etapas para a implementação do Passo 5 da Rota de Equipa de Gestão Autónoma e Manutenção Planeada (GA&MP) da filosofia TPM *Next* seguida na SCC.

– Etapa 5.1 - **Verificar a Conclusão das Atividades do Passo 4 e Planear as Novas Atividades:**

Esta etapa diz respeito à preparação da equipa, que deve incluir, além do pessoal envolvido no Passo 4, novos membros de suporte da qualidade com conhecimento específico do processo. Estando já asseguradas as condições básicas dos equipamentos e um mais profundo conhecimento dos mesmos pelos operadores, como prevê o Passo 4, o principal objetivo da nova equipa do Passo 5 passa pela erradicação de um modo de defeito já identificado, que no presente trabalho são os desvios fora de especificação da cor da cerveja.

– Etapa 5.2 - **Analisar a Máquina e os Processos: Definir os Modos de Falha de Qualidade; e Estudar as Interações entre Material e Máquina:**

Identificado o propósito da equipa, os seus elementos devem inteirar-se sobre todo o processo de forma a compreender a interação do defeito de qualidade identificado com o material, as máquinas e o processo. Por norma, são utilizadas matrizes QA para esta análise da relação entre o modo de defeito e as suas fases críticas do processo, mas neste trabalho esta matriz foi substituída por um diagrama de Pareto que permitiu identificar quais as áreas de atuação prioritárias da equipa.

– Etapa 5.3 - **Definir Componentes Críticos; Criar Pontos Q e Padrões (via matrizes QX/QM); Definir Materiais de Formação Específicos para a Máquina; e Formar Operadores nos Padrões e em Tarefas de Manutenção da Qualidade:**

A influência dos demais parâmetros para a qualidade do produto, essencialmente associados a máquinas e equipamentos ou ao próprio processo, deve ser estudada pela realização de matrizes QX e QM. Após uma análise ponderada de todos os componentes considerados críticos para o modo de defeito em causa, devem apenas ser selecionados os principais pontos Q e respetivos padrões para que seja aumentado o nível de controlo desses pontos. Caso necessário, devem ainda ser desenvolvidos materiais de formação específicos que auxiliem no cumprimento das novas tarefas de manutenção da qualidade adotadas e que garantam a instrução adequada dos operadores. Neste trabalho, foi construída uma matriz QX para o parâmetro de qualidade referente à cor da cerveja e identificados os principais pontos Q, cuja avaliação de controlo foi feita por matrizes QM. Para aqueles parâmetros com pontuação mais fraca, foram sugeridas uma série de ações para a reposição da sua condição básica.

- Etapa 5.4 - **Finalizar as Rotinas de Inspeção, Otimizar e Integrar o Padrão no plano de CILT; Monitorizar o Desempenho do FTR para Garantir a sua Sustentabilidade, utilizando o DCS:**

As atividades de manutenção da qualidade, quando aplicável, devem ser integradas nas rotinas do CILT, da responsabilidade dos operadores, e/ou nos planos da equipa de manutenção, por forma a serem mantidos sob um controlo rigoroso. A conformidade com os padrões deve ser frequentemente auditada, muitas vezes recorrendo-se a um Sistema de Controlo Diário (DCS, de *Daily Control System*) que implica a monitorização de desempenho dos vários indicadores-chave, aqui designados de FTR, que permitem aferir a % de fabricos de cerveja que se encontram dentro das especificações. De notar que podem ser desenvolvidas outras ações além de tarefas de manutenção, tal como sucedeu neste trabalho, desde que as mesmas encaixem na rotina dos operadores.

- Etapa 5.5 - **Verificar os Resultados e Realizar uma Auto-Auditoria:**

Além de um controlo diário do desempenho dos vários indicadores-chave, o sucesso das ações de melhoria deve ser igualmente monitorizado através de auto-auditorias realizadas pelos próprios operadores. Isto constitui uma atividade importante que está na base da filosofia de melhoria contínua, com o aumento das ações proativas em detrimento das reativas a fim de uma constante otimização da qualidade dos produtos e dos próprios processos produtivos.

6.2 Plano de Amostragem para Determinação da Cor

Dado o objetivo deste trabalho, houve a necessidade de recolha adicional de diversos tipos de amostras para a análise da cor, além daquelas que são já rotineiramente recolhidas pelos operadores. De todo o plano de amostragem estabelecido na SCC, são de destacar para a determinação da cor:

- **Amostra de malte *Pilsen***, recolhida diretamente dos silos de armazenamento da malteria para um saco de amostragem transparente após cada fabrico deste tipo de malte;
- **Amostra da mistura de malte *Pilsen***, que consiste numa combinação específica de diferentes tipos de malte desta variedade que diferem entre si em algumas das

condições do processo de maltagem. Sempre que uma mistura é preparada, retira-se uma amostra do respetivo silo da malteria para um saco de amostragem transparente;

- **Amostra de malte carafa**, composta pela mistura de quantidades iguais de todas as amostras representativas de cada fabrico de malte carafa efetuado ao longo da semana. As amostras dos fabricos são recolhidas após o arrefecimento do malte torrado para um saco de amostragem transparente, e a combinação das várias amostras é igualmente efetuada para um saco do mesmo tipo;
- **Amostra da mistura de malte carafa**, recolhida aquando da passagem deste malte dos silos da malteria para os silos da secção de brassagem. Esta amostra é colhida de forma faseada ao longo de todo o período de transferência por meio de um equipamento tira-amostras instalado no circuito, e deve ser acondicionada num saco de amostragem transparente;
- **Amostra de mosto quente**, recolhida uma vez por dia para um canudo de cobre no ponto de amostragem localizado na caldeira de fervura após o final da ebulição do mosto de um fabrico aleatório. Adicionalmente, também deve ser recolhida uma amostra de mosto quente de todos os primeiros fabricos que abranjam um novo lote de malte carafa a fim de se proceder a eventuais ajustes na sua quantidade para o controlo da cor;
- **Amostra de mosto arrefecido**, recolhida diariamente no final do arrefecimento do mosto de todos os fabricos ou apenas do segundo fabrico de cada fermentador, consoante a marca. Esta é coletada no ponto de amostragem localizado após os permutadores de mosto para garrafas de vidro escuro de 1 L apropriadas ao efeito;
- **Amostra de cerveja verde**, retirada após o enchimento de cada tanque de guarda no ponto de amostragem localizado na parte inferior dos tanques, sendo igualmente utilizadas garrafas de vidro escuro de 1 L. Em algumas marcas, é também recolhida uma amostra de cerveja maturada no final do período de maturação, seguindo o mesmo procedimento;

- **Amostra de cerveja filtrada**, recolhida após o enchimento de cada TCF para as mesmas garrafas de vidro escuro de 1 L pelo ponto de amostragem localizado na parte inferior dos tanques.

De notar que a recolha de todas as amostra líquidas, das quais se entendem os mostos, a cerveja verde, a cerveja maturada e a cerveja filtrada, obriga ainda a uma breve purga para minimizar a ocorrência de amostras contaminadas ou tendenciosas. Por fim, e de modo similar, todas as amostras mencionadas devem ser devidamente identificadas e encaminhadas para análise laboratorial.

6.2.1 Métodos para Determinação da Cor de Malte, Mosto e Cerveja

Todos os métodos implementados na SCC para a determinação da cor de amostras de malte, mosto e cerveja têm como base as normas da EBC que, por sua vez, estão traduzidas nas fichas HMESC do Grupo Heineken. Preferencialmente, esta análise deve dar-se por espectrofotometria num comprimento de onda de 430 nm, com a cor a ser obtida em unidades EBC pela multiplicação do valor de absorvância da amostra por um fator de 25, como mostra a Equação 5.5. Outros fatores podem ter de ser considerados nesta equação de acordo com o procedimento de preparação das amostras, que tende a diferir consoante se trate de maltes, mostos ou cervejas.

Para o malte *Pilsen* e misturas de malte *Pilsen*, as amostras devem ser primeiramente moídas (DLFUD22050, da *Buhler-Miag*). De seguida, para um copo metálico, são pesados numa balança (PJ3000, da *Mettler Toledo*) cerca de 50,00 ($\pm 0,01$) gramas (g) de malte moído, ao qual são adicionados posteriormente cerca de 200 mL de água destilada aquecida a 45 °C. Toda esta mistura é sujeita a um banho de água com controlo de tempo, temperatura e velocidade de agitação (CT4 *Mashing Bath*, da *Canongate Technology*), comumente designado de *Brassin* por mimetizar as condições a que o malte é sujeito na etapa de brassagem. Este programa inicia-se com um banho a 45 °C durante aproximadamente 30 minutos, período após o qual se deve fazer subir a temperatura do banho em 1 °C por minuto durante 25 minutos até atingir os 70 °C. Nesta fase, são adicionados, pelo próprio equipamento, mais 100 mL de água destilada à mesma temperatura do banho, e a mistura deve permanecer neste patamar durante 60 minutos. Cumpridos todos os estágios de tempo/temperatura, as amostras são arrefecidas à

temperatura ambiente e o seu peso é ajustado a 450,00 ($\pm 0,05$) g por adição de água destilada. Esta mistura é agitada com uma vareta de vidro e filtrada por um papel de filtro pregueado que cobre um funil colocado sobre um balão. Por norma, o primeiro volume filtrado é colocado novamente no filtro para ser refiltrado, e só depois é recolhida uma porção para ser analisada.

No caso do malte carafa e misturas de malte carafa, a preparação destas amostras é comum à análise de outros tantos parâmetros de qualidade além da cor, pelo que, dado o seu empobrecimento em enzimas, é tratada conjuntamente com um malte *Pilsen* tido como padrão na proporção de 1:1. Assim, são pesados numa balança (PJ3000, da *Mettler Toledo*), para um copo metálico, 25,00 ($\pm 0,01$) g de malte carafa moído (AZ 531/4, da *Buhler-Miag*) e 25,00 ($\pm 0,01$) g de malte *Pilsen* padrão também moído (DLFUD22050, da *Buhler-Miag*), aos quais são adicionados posteriormente cerca de 200 mL de água destilada aquecida a 45 °C. Esta mistura é igualmente sujeita aos vários patamares de tempo/temperatura do *Brassin*, bem como ao decorrente ajuste do peso a 450,00 ($\pm 0,05$) g com água destilada. Da mesma forma, após agitação com vareta de vidro, dá-se a filtração da mistura por um papel de filtro pregueado colocado sobre um funil e um balão, com atenção para que o primeiro volume coado seja refiltrado. Os seguintes 50 mL de filtrado são recolhidos e filtrados novamente com um filtro de pregas, agora com o auxílio de cerca de 2,5 g de *kieselguhr* habitualmente medidos com uma colher padrão. Caso necessário, pode dar-se uma terceira filtração com uma membrana filtrante de 0,45 micrómetros (μm). A preparação final é ainda diluída numa proporção de 1:50 para que a absorvância esteja dentro da linearidade do espectrofotómetro, isto é, entre 0,100 e 1,000. Como tal, este fator de 50, à semelhança do fator 2 em consideração da porção inicial efetiva de malte carafa, devem ser tidos em conta adiante no cálculo final.

No caso de mosto, quente ou arrefecido, a amostra, acondicionada num balão, deve ser primeiramente termostatizada num banho termostático (RA 120, da *Lauda*) com um termostato de imersão (A 100, da *Lauda*) a cerca de 20 °C, e posteriormente filtrada com um filtro de pregas e *kieselguhr* ou com recurso a uma membrana filtrante de 0,45 μm .

No caso de cerveja verde, maturada e filtrada, uma particular atenção deve ser dada graças à presença de CO₂, um cuidado que não ocorre no mosto dado que ainda não sofreu fermentação. Assim, esta amostra, igualmente acondicionada num balão, deve ser previamente descarbonatada por agitação constante num agitador magnético (*Combimag* REO, da *IKA*), durante cerca de 10 minutos, para que o CO₂ seja libertado. De seguida, a amostra é filtrada uma primeira vez através de um filtro de pregas colocado sobre um funil para um segundo balão. Com a remoção de todo o CO₂, procede-se finalmente à termostatização da

amostra a cerca de 20 °C e à sua filtração com um filtro de pregas e *kieselguhr* ou com uma membrana filtrante de 0,45 µm.

De notar que todas as etapas de filtração recorrentes nestes procedimentos de preparação das diferentes amostras visam a remoção de quaisquer partículas em suspensão que podem interferir com a correta medição da absorvância. Esta necessidade de clarificação da amostra pode ser verificada pela comparação das medições da absorvância a 430 nm e 700 nm, devendo a absorvância a 700 nm ser igual ou inferior a 0,039 vezes a absorvância a 430 nm para que a amostra seja considerada livre de turvação. Caso a turvação da amostra seja inferior a 1 unidade EBC, a amostra também não carece de filtração.

Após a preparação devida das várias amostras, a etapa final para a determinação da cor é comum, utilizando-se, para o efeito, um espectrofotómetro (*Cary 60 UV-Vis*, da *Agilent Technologies*). Primeiramente, deve verificar-se que o comprimento de onda selecionado é de 430 nm. De seguida, não esquecer de preparar a amostra do branco com água destilada, cuja absorvância deve ser ajustada para 0,000. Para evitar possíveis desvios, a cuvete utilizada na medição da absorvância das amostras deve ser a mesma que a do branco, devendo esta ser lavada com a própria amostra e, só depois, ser cheia. Caso a absorvância não esteja dentro da linearidade do espectrofotómetro, isto é, entre 0,100 e 1,000, então a amostra deve ser diluída de modo que o valor de absorvância passe a estar compreendido entre estes limites. Nesta condição, o fator de diluição deve ser considerado no cálculo final, como mostra a Equação 6.1.

$$Cor (EBC) = A_{430} \cdot 25 \cdot \text{Fator de Diluição}$$

Equação 6.1 Determinação da cor, em EBC, pela absorvância a 430 nm e tendo em conta o fator de diluição, considerando-se cuvets de vidro com 1 cm².

Muitas indústrias cervejeiras, como é o caso da SCC, procedem à determinação da cor de mostos e cervejas com o Sistema de Análise de Cervejas *Alcolyzer*®, da *Anton Paar*, apresentado na Figura 6.5. Este equipamento tem na sua génese a determinação do teor alcoólico de todos os tipos de cervejas, mas já suporta outros tantos módulos para a medição simultânea de mais parâmetros de qualidade desta bebida. Com a configuração modular para análise de cor (*Alcolyzer 3001 Beer* com opção de Cor a 430 nm, da *Anton Paar*), a determinação é efetuada por uma unidade espectrofotométrica no comprimento de onda padronizado de 430 nm, apresentando uma capacidade de medição entre 0,00 EBC e 120,00 EBC e uma

incerteza de 0,01 EBC. Estes valores são equivalentes ao intervalo de 0,00 SRM a 60,69 SRM, com uma incerteza de 0,01 SRM (Anton Paar GmbH, 2021).

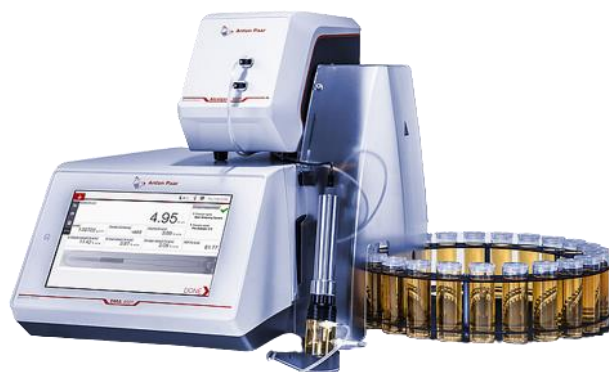


Figura 6.5 Sistema de Análise de Cervejas *Alcolyzer*®, da *Anton Paar*.

À parte do método espectrofotométrico, vale notar que a amostra de mosto quente é a única deste leque que, na SCC, é paralelamente analisada *in loco* pelos operadores por meio de comparação visual, utilizando-se para o efeito o comparador *Daylight 2000 Unit*, da *Lovibond*®, representado na Figura 6.6. De facto, apesar de todos os esforços da Empresa na tentativa de otimizar a obtenção dos resultados de cor pela instalação de sensores em linha, este método continua a ser aquele que revela maior fiabilidade.



Figura 6.6 Comparador *Daylight 2000 Unit*, da *Lovibond*®.

Aqui, o operador segue igualmente o procedimento de preparação da amostra de mosto quente numa pequena bancada preparada com este propósito, localizada na sala de

brassagem. Isto permite uma obtenção imediata do valor da cor dos fabricos e a tomada rápida de ações corretivas caso a mesma se encontre fora do intervalo de especificação estabelecido. Contudo, dada a sua subjetividade e outros possíveis erros inerentes ao método, esta determinação de cor não deve substituir a necessidade de confirmação dos resultados por espectrofotometria, devendo a mesma amostra ser encaminhada para análise laboratorial.

6.2.2 Limites de Especificação para a Cor

A monitorização contante do desempenho do processo produtivo é conseguida, em parte, pelo estabelecimento de um intervalo de tolerância que espelhe as condições ótimas de produção, e fora do qual o processo exige uma particular atenção e necessidade de medidas corretivas. Para os parâmetros de qualidade, também é comum a definição de limites de especificação que marquem a variação aceitável dessa característica nas diversas fases do processo de produção, o que garante que apenas são comercializados produtos que atendam plenamente às exigências fixadas. No caso da cerveja, a legislação já estabelece alguns limites para certos parâmetros de qualidade, mas a cor não está abrangida. Todavia, para garantir que o processo está sob controlo e coopera para um produto final de cor uniforme e apelativa aos consumidores, a Empresa fixou limites de especificação para este parâmetro nas demais cervejas que representa, inclusive em algumas das matérias-primas com mais impacto na cor como é o caso do malte.

Na SCC, a cor é monitorizada por especificações bilaterais, isto é, com um limite inferior de especificação (LIE) e um limite superior de especificação (LSE). Estes limites, estabelecidos para todas as amostras com análise de cor do plano de amostragem descrito anteriormente na secção 6.2 Plano de Amostragem para Determinação da Cor, correspondem a valores numéricos, em unidades EBC, que determinam o intervalo de aceitação da cor de cada amostra, sendo que todos os valores que o transponham são considerados como uma falha. A ocorrência destes desvios requer, na maioria dos casos, a rejeição do produto ou a necessidade urgente de aplicação de medidas corretivas, implicando ainda a necessidade de identificação da causa do defeito para prevenir uma nova ocorrência. É precisamente sobre esta problemática que está o foco deste trabalho, com o objetivo de reduzir o número de falhas de cor no processo de produção de cerveja.

De notar que os intervalos de especificação de cor devem estar adequadamente adaptados ao processo produtivo, dado que este atributo depende fortemente das condições a que o mesmo decorre. Assim sendo, poderá haver a necessidade de revisão dos limites de

especificação caso o processo de produção sofra alterações com impacto direto neste parâmetro de qualidade. Todavia, os intervalos de especificação atualmente em vigor na SCC para as principais amostras consideradas neste trabalho estão representados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Intervalos de especificação de cor, em EBC, para as amostras com análise de cor do plano de amostragem da SCC, cingindo-se às principais marcas de cerveja representadas pela Empresa.

INTERVALO DE ESPECIFICAÇÃO (EBC) AMOSTRA	LIE	VALOR MÉDIO	LSE	AMPLITUDE
MALTE PILSEN	3,00	3,50	4,00	± 0,50
MISTURA DE MALTE PILSEN	3,00	3,50	4,00	± 0,50
MALTE CARAFA	800,00	900,00	1000,00	± 100,00
MISTURA DE MALTE CARAFA	800,00	900,00	1000,00	± 100,00
MOSTO QUENTE (Sagres®)	12,50	13,50	14,50	± 1,00
MOSTO ARREFECIDO (Sagres®)	13,00	14,00	15,00	± 1,00
MOSTO ARREFECIDO (Heineken®)	9,00	10,00	11,00	± 1,00
CERVEJA VERDE (Sagres®)	11,00	12,00	13,00	± 1,00
CERVEJA VERDE / MATURADA (Heineken®)	8,67	9,87	11,07	± 1,20
CERVEJA FILTRADA (Sagres®)	7,00	8,00	9,00	± 1,00
CERVEJA FILTRADA (Heineken®)	6,00	7,00	8,00	± 1,00

LIE: Limite Inferior de Especificação; LSE: Limite Superior de Especificação

6.3 Tratamento de Dados de Cor

A realização deste trabalho implicou, além da recolha e análise de variadas amostras para a determinação da cor, o respetivo tratamento das mesmas com a ferramenta *Excel*, da *Microsoft Office*®.

Para alguns dados, de forma a perceber se o processo está sob controlo e se as matérias-primas e os vários produtos, intermédios e finais, estão a ser produzidos com uma cor

conforme as especificações, houve a necessidade de se fazer um estudo da capacidade processual. Para tal, foi primeiramente crucial assegurar a estabilidade do processo, isto é, se o mesmo tem uma média e variância constantes ao longo do tempo e se segue uma distribuição definida. Para o parâmetro de qualidade em causa, espera-se que os valores de cor sejam normalmente distribuídos, isto é, a maioria dos dados devem estar dispostos em torno da sua média e apenas uma pequena parte deve estar mais desviada.

Aqui, o teste utilizado para a suposição da normalidade foi o *Kolmogorov-Smirnov*, que quantifica a distância entre a função de distribuição empírica das amostras e a função de distribuição acumulada da distribuição de referência, que neste caso é a distribuição normal. Isto envolve a padronização das amostras e comparação com uma distribuição normal padrão, o que equivale a tornar a média e a variância da distribuição de referência iguais às estimadas das amostras. No final, todas as diferenças entre os pontos destas funções devem ser inferiores a um certo valor tabelado, que varia consoante a dimensão da amostra (n) e o nível de significância (α) considerado, que aqui foi de 0,05. Este cenário implica a não rejeição da hipótese nula de que a função de distribuição empírica é igual à função de distribuição normal acumulada, ou seja, demonstra a normalidade dos dados analisados (Corder & Foreman, 2009).

Confirmada a normalidade, ou não, dos dados de cor, pode proceder-se, finalmente, ao estudo da capacidade do processo. Para o efeito, o indicador mais simples e direto é o C_p , de Capacidade Potencial do Processo, definido, como mostra a Equação 6.2, pela razão entre a amplitude do intervalo de especificação do parâmetro em análise e o intervalo do processo, este último dado por seis vezes o desvio padrão observado (σ). Desta forma, permite avaliar o cumprimento da especificação do processo, considerando que o mesmo está centrado no valor nominal da especificação. No entanto, se a média amostral (μ) não coincidir com a média dos limites de especificação, então este valor poderá induzir em erro. Aqui, deve considerar-se o indicador C_{pk} , que é uma variante do C_p com o k a referir-se ao fator de centralização do processo. Este índice é definido, como indica a Equação 6.3, pelo menor índice C_p entre o calculado para o limite inferior e o calculado para o limite superior, indicando a posição da curva normal em relação ao valor alvo. No final, quanto maior o C_p , maior a probabilidade de o processo cumprir as especificações, sendo que deve, em condições ótimas, ser superior a 1,33 para se considerar que o processo tem potencial. Quanto ao C_{pk} , quanto maior este índice, maior a probabilidade de o processo estar dentro de especificação e centrado, devendo ser

igualmente superior a 1,33 para se considerar que o processo é capaz. Assim, se o processo estiver centralizado, então os valores de Cp e Cpk serão muito próximos (Montgomery, 2009).

$$Cp = \frac{\text{Limite Superior de Especificação} - \text{Limite Inferior de Especificação}}{6 \cdot \sigma}$$

Equação 6.2 Índice Cp, de capacidade potencial, considerando o desvio padrão das amostras (σ).

$$Cpk = \min \left\{ \frac{\mu - \text{Limite Inferior de Especificação}}{3 \cdot \sigma}, \frac{\text{Limite Superior de Especificação} - \mu}{3 \cdot \sigma} \right\}$$

Equação 6.3 Índice Cpk, de capacidade potencial com o k a referir-se ao fator de centralização, considerando a média (μ) e o desvio padrão (σ) das amostras.

Além destes índices de capacidade processual, o cumprimento do intervalo de especificação de cor fixado para cada cerveja é avaliado internamente pelo FTR Cor, que tem em conta os resultados deste atributo nas amostras de cerveja filtrada. Esta relevância é dada pelo facto deste ser o último ponto de controlo de cor na Fábrica antes das cervejas serem enviadas para enchimento, garantindo, assim, a obtenção de um produto final de cor conforme e uniforme. Desta forma, este índice é calculado com base no número de amostras de cerveja filtrada com cor dentro de especificação em relação ao número total de amostras analisadas, como mostra a Equação 6.4.

$$FTR \text{ Cor (\%)} = \frac{\text{Amostras de Cerveja Filtrada com Cor Conforme}}{\text{Amostras de Cerveja Filtrada Analisadas}} \cdot 100$$

Equação 6.4 FTR Cor, expresso em %.

ABORDAGEM EXPERIMENTAL

Com base na filosofia TPM *Next* como o Modelo de Gestão Produtiva Total implementado na SCC, sobretudo de acordo com a estrutura do Passo 5 da rota de GA&MP, foram delineadas várias estratégias para a redução de falhas de cor ao longo do processo de produção de cerveja. Para tal, a interação deste defeito de qualidade com o material, com as máquinas e equipamentos, e com o processo foi rigorosamente estudada, dado que estes pontos constituem a base da construção das matrizes QX e QM. Aqui, foi crucial a presença contínua no chão de fábrica e o contacto com técnicos e operadores, que resultou na elaboração de um fluxograma do processo produtivo.

Vale notar que, antes do planeamento de quaisquer ações de melhoria, houve primeiramente a necessidade de se proceder a uma análise ao histórico de resultados de cor de forma a serem definidas as áreas prioritárias de atuação, sendo que este desdobramento foi efetuado por fases do processo e por marcas. Da mesma forma, foi também realizada uma análise ao histórico do FTR Cor para melhor enquadramento da problemática.

7.1 Análise ao Histórico de Resultados de Cor

A cor da cerveja foi definida pela Empresa como um dos parâmetros de qualidade prioritários de atuação com base no histórico recente de resultados. De facto, se considerarmos o período de 2021 e 2022, a cor é o segundo parâmetro de qualidade, de entre os dezoito rotineiramente analisados na SCC, que mais contribui para a totalidade das falhas detetadas, representando cerca de 11,41% das mesmas. Ademais, se considerarmos a quantidade de falhas referentes ao número de amostras analisadas dentro de cada parâmetro, a cor ocupa o

sexto lugar com 19,66% das suas amostras a apresentarem defeito. Estas relações estão sistematizadas abaixo na Figura 7.1.

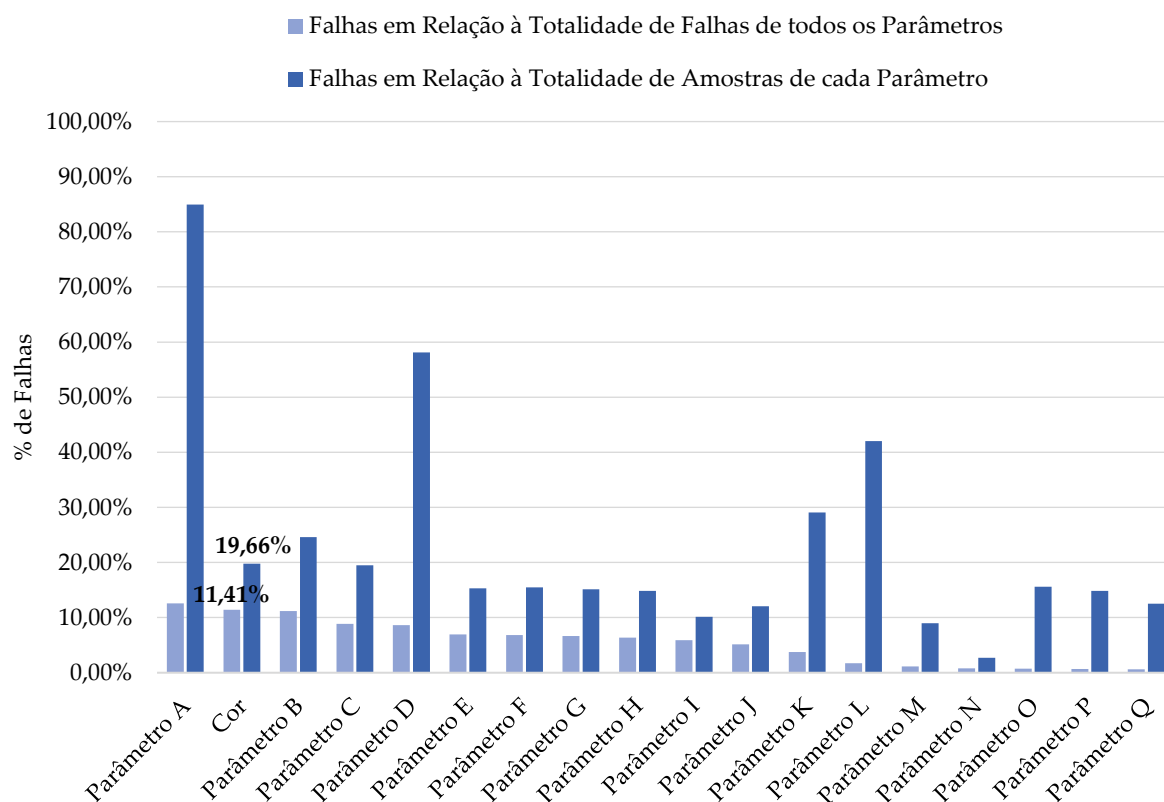


Figura 7.1 Análise de falhas, no período de 2021 e 2022, dos dezoito parâmetros de qualidade analisados na SCC, incluindo a cor, quanto à totalidade de falhas de todos os parâmetros e quanto à totalidade de amostras de cada parâmetro.

Vale voltar a referir que aquilo que aqui designamos de falhas representam valores que se encontrem abaixo do LIE ou acima do LSE estabelecidos, especificamente, para cada parâmetro de qualidade.

Definida e confirmada a problemática quanto ao parâmetro da cor, a primeira abordagem deste trabalho consistiu numa análise aprofundada ao histórico recente dos resultados de cor de diversas amostras compreendidas no plano de amostragem da SCC, parcialmente descrito anteriormente na secção 6.2 Plano de Amostragem para Determinação da Cor. Para o efeito, foram compilados os valores de cor das amostras de mosto arrefecido, cerveja verde, cerveja maturada e cerveja filtrada de todas as marcas representadas pela Empresa, igualmente no período de 2021 e 2022.

Do total de amostras analisadas neste período para os diversos parâmetros de qualidade, a grande maioria, representada com 91,23%, incluiu a determinação da cor, com apenas os 8,77% das amostras restantes a excluírem a análise deste parâmetro. Das amostras de cor, 80,34% estavam conforme as especificações e cerca de 19,66% apresentaram falha, isto é, não cumpriam os limites de especificação fixados. Esta análise está esquematizada na Figura 7.2.

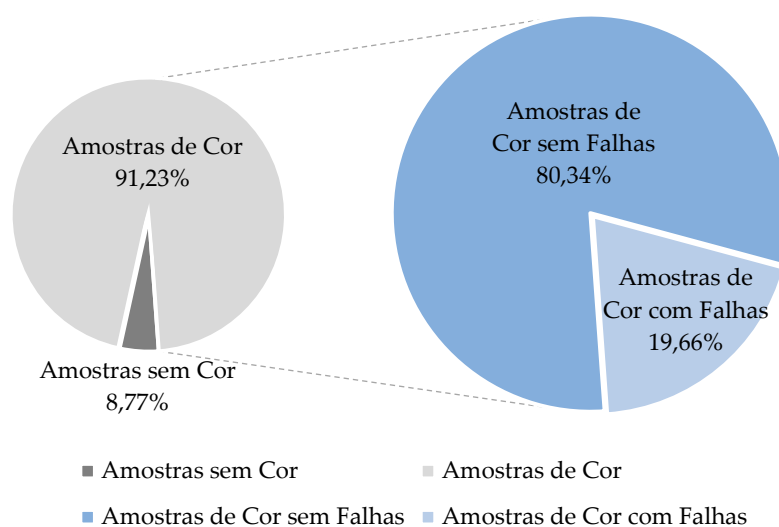


Figura 7.2 Distribuição das amostras analisadas na SCC, no período de 2021 e 2022, consoante incluíam ou não a determinação da cor e respetiva segmentação em amostras com e sem falhas.

Posto isto, e de forma a se conseguir entender a distribuição das falhas de cor ao longo do processo de produção de cerveja, foi crucial o desdobramento destes resultados de cor tanto por fases do processo como por marcas.

7.1.1 Desdobramento por Fases do Processo

O desdobramento dos resultados de cor pelas três principais fases do processo, do período de 2021 e 2022, implicou a correlação das amostras de mosto com a fase de Brassagem, das amostras de cerveja verde e maturada com a fase de Guarda, e das amostras de cerveja filtrada com a fase de Filtração. Aqui, notou-se que a Filtração, apesar de ser a fase com um maior número de amostras, é aquela que regista um menor número de falhas de cor, ocorrendo apenas em 4,90% das amostras de cerveja filtrada analisadas. Este valor é bastante inferior

quando comparado com os 40,25% e 35,25% de amostras com falhas de cor registadas na Brassagem e Guarda, respetivamente, em relação ao total amostrado em cada fase, que, por si só, também é bastante similar. Estas comparações são facilmente visíveis na Figura 7.3.

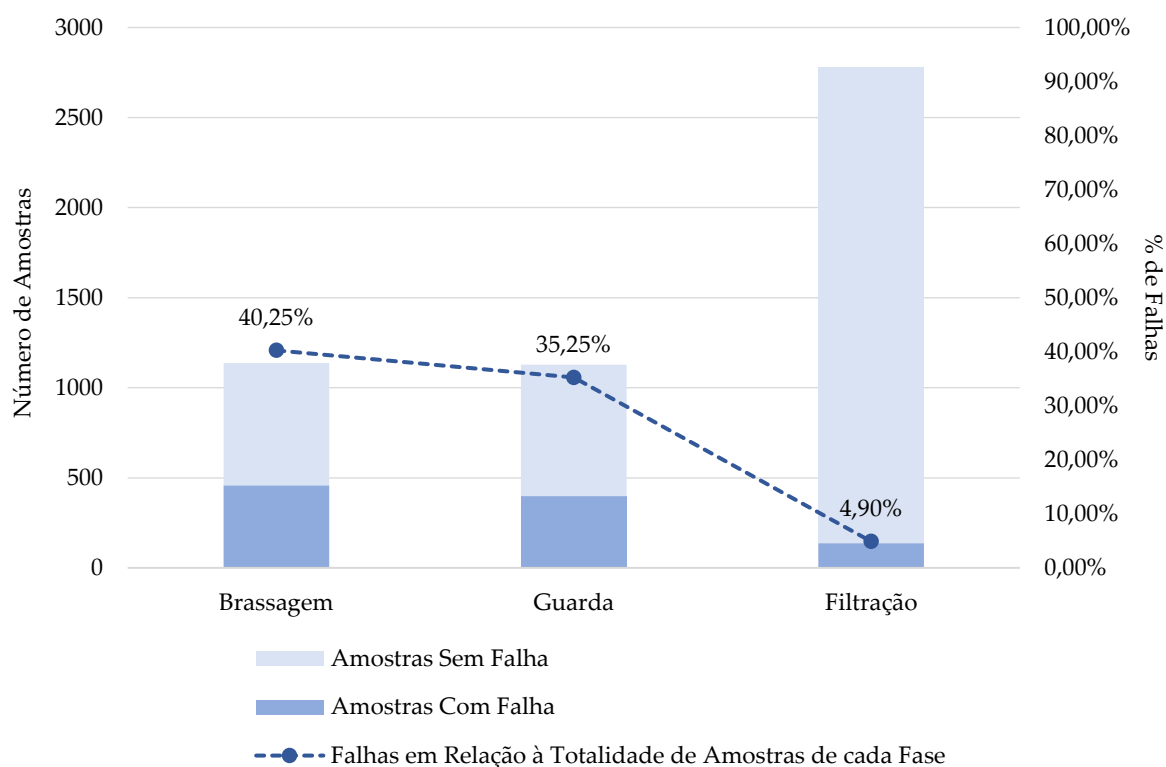


Figura 7.3 Desdobramento das amostras com e sem falhas de cor por fases do processo, nomeadamente Brassagem, Guarda e Filtração, e respetiva % de falhas quanto à totalidade de amostras analisadas em cada fase.

Estas constatações parecem mostrar uma relação estreita entre a quantidade de falhas de cor em mosto e em cerveja verde e maturada, suspeitando-se que as falhas de cor detetadas na Guarda advenham já de falhas prévias na Brassagem. O mesmo não acontece entre a Guarda e Filtração, onde se observa uma redução significativa de falhas provavelmente à conta de procedimentos de correção de cor. Na prática, esta correção de cor pode dar-se de diversas formas, destacando-se as duas principais adotadas recorrentemente na Empresa:

- Para valores de cor em Guarda acima das especificações, opta-se pela mistura de lotes de cervejas maturadas cuja média dos valores de cor seja próxima ao valor de cor pretendido e fixado pelo respetivo intervalo de especificação;

- Para valores de cor em Guarda abaixo das especificações, o ajuste é realizado com a adição de extrato de malte. Este procedimento encontra-se mais pormenorizado na secção 7.3.4.1 Procedimento de Correção de Cor da Cerveja com Extrato de Malte.

7.1.2 Desdobramento por Marcas

O desdobramento dos resultados de cor pelas diversas marcas de cerveja que a Empresa representa, do período de 2021 e 2022, está espelhado na Figura 7.4. Aqui, é possível notar uma grande discrepância do número de falhas de cor em relação à totalidade de amostras analisadas para cada marca, que variam entre os 0,60% e 100,00%.

Os valores de falhas mais avultados dizem respeito, maioritariamente, a marcas com menores lotes ou menores frequências de produção, o que dificulta o ajuste dos parâmetros processuais. Inclusive, as duas marcas que apresentam uma maior % de falhas de cor foram, entretanto, já extintas do mercado.

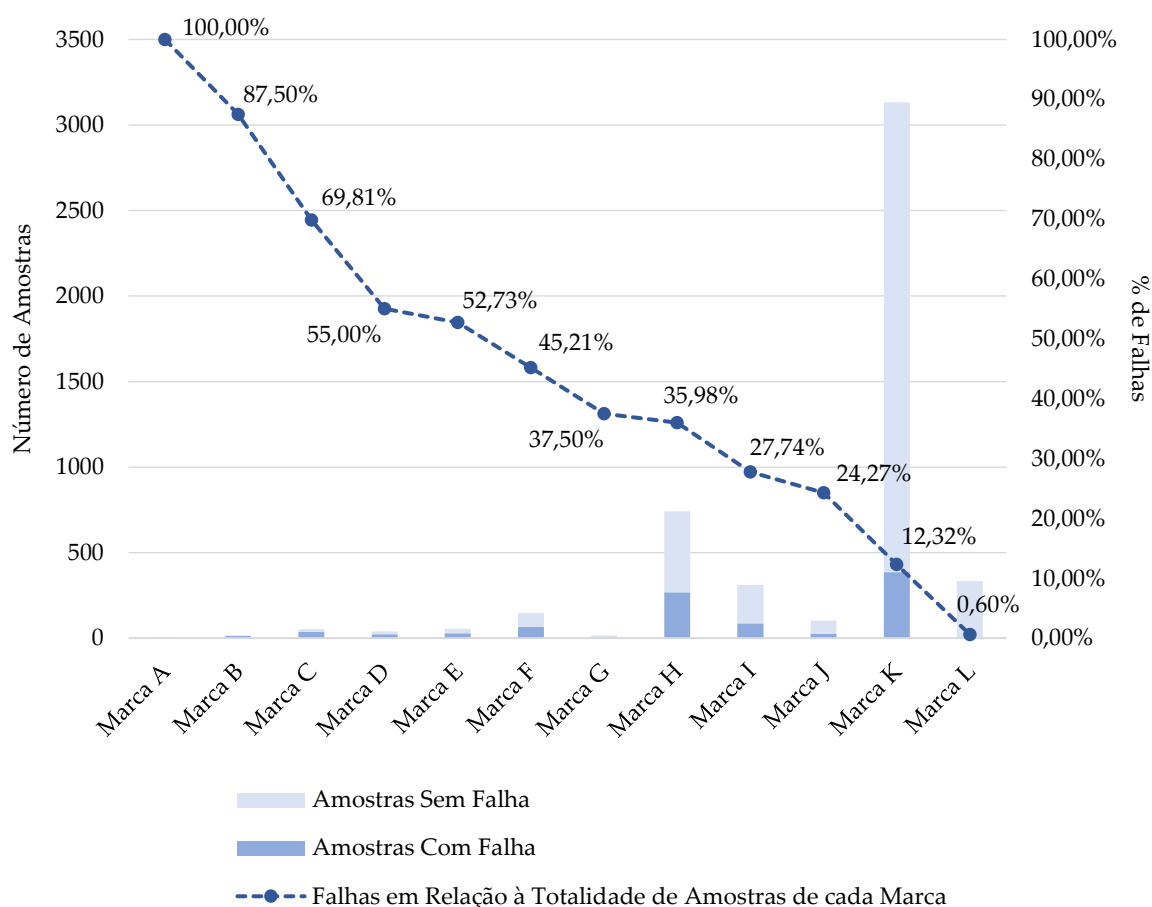


Figura 7.4 Desdobramento das amostras com e sem falhas de cor por marcas de cervejas produzidas na SCC, e respectiva % de falhas quanto à totalidade de amostras analisadas em cada marca.

Pelo contrário, as marcas com um menor número de falhas de cor relativamente ao total amostrado são aquelas que ocupam a maior parte do volume de produção da Empresa e onde, presumivelmente, são investidos mais recursos para a garantia da excelência.

7.1.3 Diagrama de Pareto

A junção das principais conclusões dos desdobramentos dos resultados de cor por fase do processo e por marca deu-se com a realização de um diagrama de Pareto, que permitiu identificar quais os binómios fase/marca que mais contribuem para a problemática das falhas de cor. Este diagrama ordena de modo decrescente a frequência absoluta das falhas de cor de cada categoria e traça uma linha de frequências relativas acumuladas que permite, de uma forma visual, entender as causas com maior impacto na problemática em estudo cuja atuação deve ser priorizada. Isto é crucial para possibilitar a concentração de esforços sobre estas fontes com um efeito desproporcionalmente grande, contribuindo para a maximização dos resultados e o aumento da produtividade.

Por aplicação do Princípio de Pareto, no diagrama de Pareto da Figura 7.5, nota-se que 80,00% das falhas de cor detetadas advém de 20,00% dos binómios fase/marca, sendo estes a Guarda de Sagres®, Mosto de Sagres®, Mosto de Heineken®, Guarda de Heineken®, Mosto de Sagres Preta®, Guarda de Bohemia Original® e Guarda de Sagres Preta®. Isto é visível graficamente pela identificação dos binómios fase/marca que perfazem os 80,00% das falhas de cor marcadas pela linha de Pareto. Destas, por questões de tempo limitado e comodidade, estabeleceu-se que o principal foco de atuação seria sobre as fases de Brassagem e Guarda das marcas Sagres® e Heineken®.

7.1.4 Análise ao Histórico do FTR Cor

O desempenho da produção de cerveja é avaliado internamente pelo FTR Fabricação de Cerveja, que é calculado pela média dos FTRs das áreas de Brassagem, Fermentação e Guarda, e Filtração. Este último FTR é influenciado, entre vários outros indicadores de qualidade, pelo FTR Cor, onde são contabilizados os resultados de cor das amostras de cerveja filtrada segundo a Equação 6.4. Posto isto, apesar da fase de Filtração não constar nas causas-raiz identificadas no diagrama de Pareto, optou-se por incluí-la no desenrolar do trabalho de forma a garantir o controlo da cor das amostras de cerveja filtrada e, consequentemente, um bom desempenho do FTR Cor.

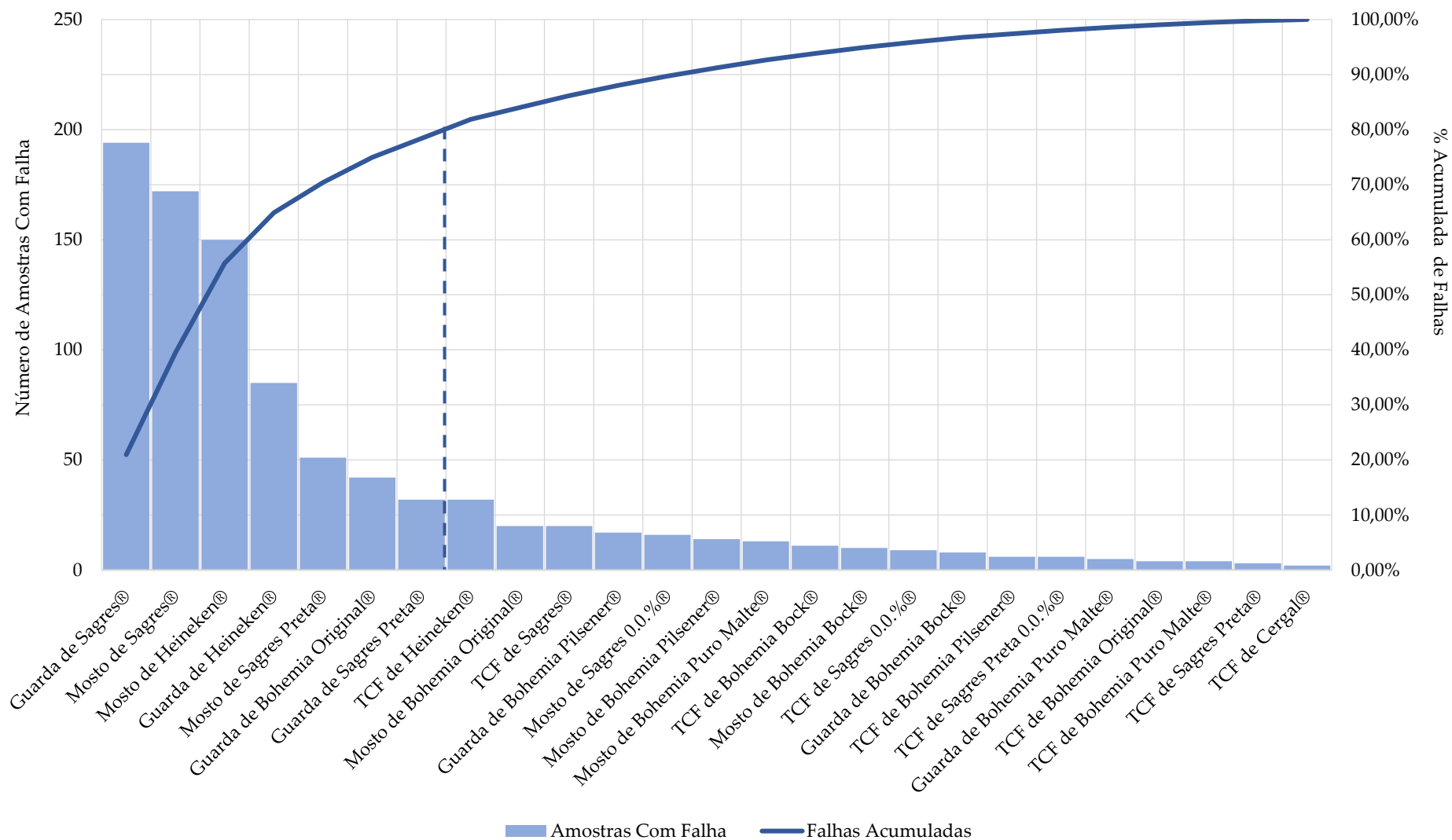


Figura 7.5 Diagrama de Pareto para as falhas de cor das cervejas produzidas na SCC, considerando as causas na forma de binómio fase/marca.

Recuando aos anos de 2021 e 2022, uma análise ao FTR Cor, representada na Figura 7.6, mostra que o objetivo delineado pela Empresa apenas foi atingido no primeiro ano, embora por uma margem mínima. No segundo ano, ainda que o FTR Cor tenha melhorado, isto não permitiu alcançar a meta traçada, o que dá ainda mais ênfase à problemática retratada neste trabalho.

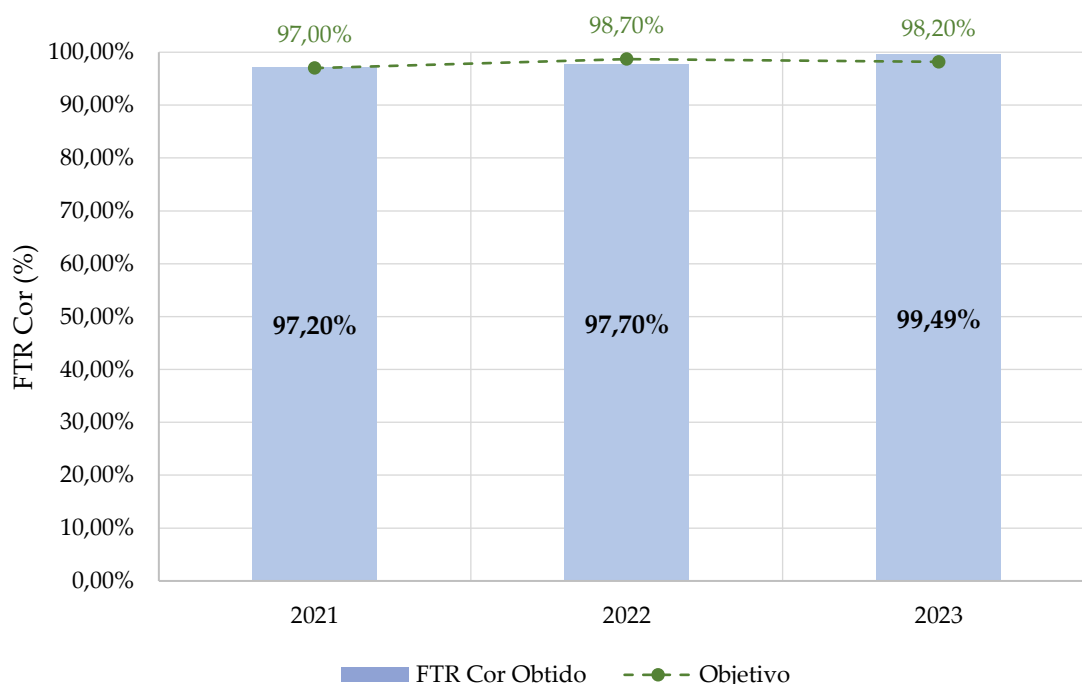


Figura 7.6 Análise ao FTR Cor nos anos de 2021, 2022 e 2023, sendo que este último apenas contém dados até ao final do mês de junho. A linha verde mostra o objetivo delineado para este FTR em cada ano.

No ano corrente, até ao final do mês de junho, coincidente com o período final do estágio, o FTR Cor acumulado era de 99,49%, encontrando-se acima das expectativas traçadas para 2023 situadas nos 98,20%. Este resultado muito positivo pode dever-se, por um lado, ao facto de as pequenas marcas com um maior percentual de falhas de cor terem sido eliminadas do portefólio. Por outro lado, pode também afirmar-se que esta notável melhoria é fruto de todo o trabalho desenvolvido ao longo deste projeto, nomeadamente com a sensibilização dos técnicos e operadores para a problemática da cor e com todas as ações de melhoria implementadas.

7.2 Planeamento de Ações de Melhoria

O planeamento das atividades a realizar com a finalidade de redução de falhas de cor ao longo do processo de produção de cerveja seguiu a estrutura do Passo 5 da rota de GA&MP. Esta abordagem implicou a aplicação das suas principais ferramentas, nomeadamente as matrizes QA, QX e QM, além de outras auxiliares como o fluxograma.

7.2.1 Matriz QA

A matriz QA torna evidente quais são os maiores modos de defeito de um processo e correlaciona-os com potenciais causas associadas às diferentes etapas, tentando, desta forma, priorizar quais os parâmetros e áreas do processo que necessitam de particular atenção.

Neste trabalho, a primeira parte relativa à determinação dos modos de defeito foi omitida uma vez que a cor já estava previamente identificada como um dos parâmetros de qualidade prioritários de atuação, como abordado na secção 7.1 Análise ao Histórico de Resultados de Cor. Para a segunda parte, foi realizado um diagrama de Pareto, visível na Figura 7.5, que permitiu estabelecer as prioridades de atuação para a redução de falhas de cor quanto a fases do processo e marcas. De relembrar que, aqui, se definiu que o principal foco de ação seria sobre as fases de Brassagem e Guarda das marcas Sagres® e Heineken®, não desprezando a relevância da fase de Filtração graças ao impacto no FTR Cor.

Identificada a urgência da problemática da cor e principais áreas de trabalho, houve a necessidade de elaboração de fluxogramas das diversas áreas de produção de cerveja da SCC de modo a facilitar o entendimento do próprio processo produtivo e identificar os pontos críticos que impactam neste parâmetro de qualidade.

7.2.1.1 Fluxograma do Processo Cervejeiro

A elaboração do fluxograma das três principais áreas na qual é dividido o processo cervejeiro seguido na SCC, e para a qual foi essencial a presença contínua no chão de fábrica e o contacto com os técnicos e operadores, permitiu compreender a interação do material, máquinas, equipamentos e parâmetros processuais na caracterização da cor da cerveja. A identificação destes pontos é crucial pois constituem a base da construção das matrizes QX e QM. Este fluxograma, dividido pelas áreas de Brassagem, Fermentação e Guarda, e Filtração, está representado no apêndice A.1 Fluxograma do Processo Cervejeiro na SCC.

7.2.2 Matriz QX

A matriz QX é uma ferramenta que permite associar a ocorrência de defeitos às respectivas características de um processo produtivo.

Neste trabalho, foi utilizado um dos modelos base desta matriz que compreende quatro quadrantes a serem preenchidos de forma sequencial: (1) modo de defeito, (2) fases do processo, (3) componentes do equipamento, e (4) parâmetros do equipamento/processo. Como tal, começou-se por introduzir os modos de defeito em análise no primeiro quadrante. Para o parâmetro de qualidade da cor, os modos de defeito identificados foram "Cor Baixa" e "Cor Alta", em representação das falhas de cor dadas por valores abaixo do LIE e acima do LSE, respetivamente. De seguida, no segundo quadrante, foram identificadas ao detalhe todas as fases do processo com influência nestes modos de defeito, sendo esta interação assinalada com um "X" nas devidas correspondências. No terceiro quadrante, foram colocadas as máquinas e equipamentos, bem como respetivos componentes, associados a cada etapa, marcando-se com um "X" estas correlações. Por fim, no quarto quadrante, foram descritos todos os parâmetros eletromecânicos das máquinas e equipamentos ou parâmetros processuais considerados críticos para as falhas por "Cor Baixa" e "Cor Alta". Estes parâmetros foram associados a cada equipamento ou respetivo componente com a marcação de um "X" nos respetivos cruzamentos. Adicionalmente, em frente a cada parâmetro, foram especificadas as suas condições operacionais ótimas, habitualmente referidas como padrão, para que o seu grau de controlo possa ser posteriormente analisado nas matrizes QM.

Posto isto, a matriz QX resultante ficou bastante extensa, sendo aqui apenas representada, na Figura 7.7, uma versão resumida com os modos de defeito no primeiro quadrante e o número de entradas dos restantes.

De forma breve, no segundo quadrante foram incluídas 26 etapas referentes às três principais áreas do processo pois, apesar da priorização ter sido dada às fases de Brassagem e Guarda, optou-se por incluir também a fase de Filtração em virtude da importância do cumprimento do FTR Cor e dos procedimentos de correção de cor que aqui ocorrem e que devem ser rigorosamente mantidos sob controlo. No terceiro quadrante, foram abrangidos um total de 121 equipamentos e componentes que, no quarto quadrante, se desdobraram em 82 parâmetros críticos. A versão completa desta matriz, embora em ponto pequeno, pode ser visualizada no apêndice A.2 Matriz QX.

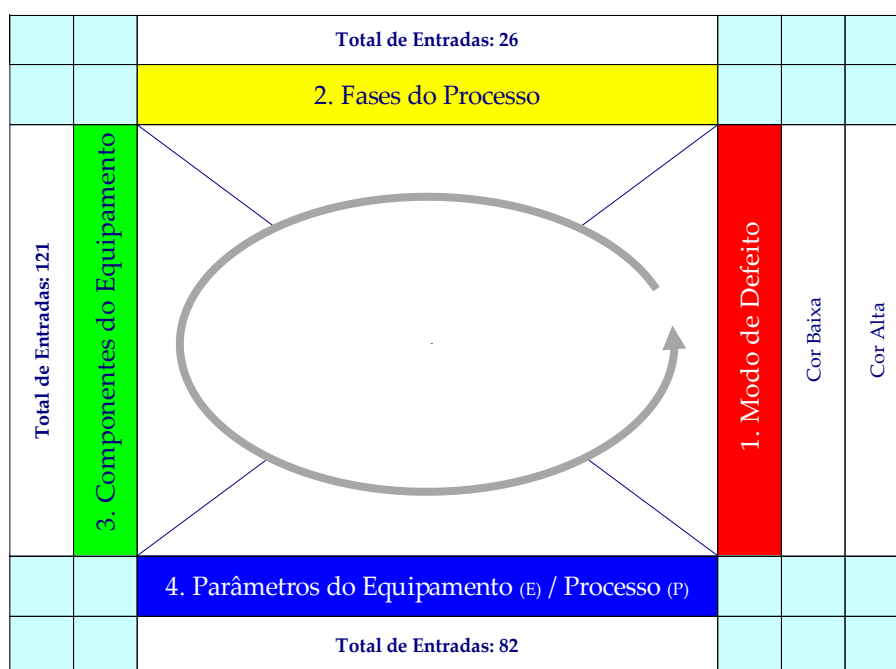


Figura 7.7 Matriz QX resumida para os modos de defeito "cor baixa" e "cor alta".

7.2.2.1 Determinação dos Pontos Críticos de Qualidade

Dada a extensão do número de parâmetros críticos identificados na matriz QX, houve a necessidade de uma seleção criteriosa dos mesmos com base na dimensão do impacto no parâmetro de qualidade da cor da cerveja. Esta avaliação dos principais pontos Q foi realizada em conjunto com as equipas de produção e de qualidade, que partilharam da ideia de que os parâmetros mais impactantes para a cor são aqueles relacionados com algumas matérias-primas, nomeadamente o malte *Pilsen*, malte carafa e extrato de malte, e aqueles que envolvem temperaturas elevadas, estreitamente relacionadas com a ocorrência de reações de *Maillard* e de oxidação de compostos fenólicos como descrito nas secções 5.3.1.1 Reações de Escurecimento Não Enzimático no Processo Cervejeiro e 5.3.2.1 Oxidação de Compostos Fenólicos no Processo Cervejeiro. Desta triagem, resultaram 31 pontos Q, abaixo explicitados:

I. Cor do Malte *Pilsen*;

O malte *Pilsen* é a matéria-prima mais abundante utilizada no fabrico do mosto, pelo que a sua cor influencia de forma direta a cor do mosto e, consequentemente, da cerveja final. Na SCC, está delineado que a cor do malte *Pilsen* deve situar-se entre 3,00 e 4,00 EBC.

II. Cor do Malte Carafa;

O malte carafa, embora utilizado em menores porções que o malte *Pilsen*, tem um impacto muito superior na cor do mosto e da cerveja final pois tem uma cor que, na SCC, tende a variar entre 800,00 e 1000,00 EBC. Dada a desproporcionalidade destes valores quando comparados com a cor do malte *Pilsen* e a cor final de Sagres® e Heineken®, situada entre 6,00 e 9,00 EBC, é crucial manter a homogeneidade da cor do malte carafa pois variações mínimas terão uma grande expressão na cor do produto final.

III. Quantidade de Malte Carafa;

Atendendo à gama alta dos valores de cor intrínsecos ao malte carafa, a quantidade deste malte que é incorporada no fabrico do mosto tem igualmente um forte impacto na cor do mosto e da cerveja final. Estes dois parâmetros, cor e quantidade, estão intimamente ligados, sendo que um aumento da cor do malte carafa deve ser compensado com uma diminuição da quantidade incorporada e, contrariamente, uma diminuição da cor balanceada com um aumento da quantidade de malte carafa adicionado. Estes ajustes tendem a ser feitos com alguma frequência, nomeadamente aquando da mudança do lote de malte carafa caso sejam notadas variações de cor.

IV. Condição Básica da Balança do Malte Carafa;

As condições operacionais ótimas da balança do malte carafa, como sendo o equipamento responsável pela sua pesagem, devem ser garantidas dado o forte impacto que pequenas variações na quantidade deste malte têm na cor do mosto e, conseqüentemente, na cerveja final.

V. Condição Básica das Básculas do *Mechamasher*;

As básculas do *mechamasher* são o componente responsável pela pesagem, consoante cada receita, de cereais maltados e não maltados moídos, incluindo o malte *Pilsen*. Apesar da quantidade de malte *Pilsen* não ter sido considerada um ponto Q por não sofrer tantas variações como aquelas que ocorrem com a quantidade de malte carafa, é importante garantir que estão a ser incorporadas as quantidades delineadas deste malte para que a proporção de malte claro e malte escuro não seja afetada. Como tal, deve estar assegurada a correta operacionalidade deste equipamento.

VI. Tempo e Temperatura nas Caldas;

O tempo e temperatura a que a mistura de cereais maltados e não maltados é sujeita na etapa das caldas tem influência na cor dado que a sua extensão influencia a ocorrência de reações de *Maillard* e de oxidação de compostos fenólicos. Aqui, quanto maior o tempo e a temperatura, mais propícia a ocorrência destas reações e maior o ganho de cor da mistura. Na SCC, este binómio está definido no diagrama das caldas, delineado internamente e específico para cada marca, e cuja monitorização do seu cumprimento é efetuada por um controlador lógico programável (PLC, de *Programmable Logic Controller*).

VII + VIII. Condição Básica dos Sensores de Pressão nas Linhas do Vapor das Caldas e Condição Básica das Válvulas de Vapor nas Caldas;

As temperaturas elevadas que se fazem sentir nas caldeiras das caldas dependem do fornecimento de vapor. Este é regulado por sensores de pressão que definem o caudal de vapor em linha e pela abertura e fecho de válvulas, devendo ser assegurada a condição básica de ambos estes componentes para garantir o correto cumprimento dos tempos e temperaturas pretendidas no diagrama. De facto, qualquer anomalia destes equipamentos poderá implicar o encurtamento ou prolongamento do fornecimento de vapor, resultando em temperaturas menos ou mais elevadas e na obtenção de cores inferiores ou superiores às esperadas, respetivamente.

IX. Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras das Caldas;

As sondas de temperatura das caldeiras das caldas devem estar em pleno funcionamento para garantir, igualmente, o cumprimento dos tempos e temperaturas pretendidas no diagrama. Apesar de serem alvo de um adequado plano de calibração, um possível desajuste destes equipamentos afetará o tempo de permanência e a temperatura da mistura na caldeira pela falsa indicação fornecida. Se a sonda de temperatura indicar incorretamente que a temperatura alvo já foi atingida, então o fornecimento de vapor é interrompido e o tempo de permanência e a temperatura atingida são inferiores ao estipulado no diagrama, contribuindo para uma cor menor que a prevista. Pelo contrário, se o valor indicar incorretamente que a temperatura alvo ainda não foi atingida, então o fornecimento de vapor persiste e o tempo de permanência e a temperatura atingida são superiores ao esperado, resultando num ganho anormal de cor.

X. Tempo e Temperatura na Empastagem;

À semelhança das caldas, o tempo e temperatura a que a mistura de cereais maltados e não maltados é sujeita na etapa da empastagem também tem influência na cor. Aqui, este binómio está definido no diagrama de empastagem e o seu cumprimento depende, igualmente, do correto funcionamento operacional do PLC, dos sensores de pressão nas linhas do vapor, das válvulas reguladoras de vapor, e das sondas de temperatura das caldeiras.

XI + XII. Condição Básica dos Sensores de Pressão nas Linhas do Vapor da Empastagem e Condição Básica das Válvulas de Vapor na Empastagem;

Estes tópicos seguem a lógica detalhada nos pontos VII e VIII, sendo aqui referentes à etapa de empastagem.

XIII. Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras de Empastagem;

Este tópico segue a lógica detalhada no ponto IX, sendo aqui referente à etapa de empastagem.

XIV. Tempo e Temperatura de Ebulição do Mosto;

Também na etapa de ebulição do mosto existem patamares de tempo e temperatura a serem cumpridos e que influenciam, da mesma forma, o aumento de cor do mosto e da cerveja. Além da dependência comum das condições básicas do PLC, dos sensores de pressão nas linhas do vapor, das válvulas reguladoras de vapor e das sondas de temperatura das caldeiras para o cumprimento das especificações de tempo e temperatura definidas, o fornecimento de vapor nas caldeiras de fervura depende ainda do correto funcionamento das calândrias.

XV + XVI. Condição Básica dos Sensores de Pressão nas Linhas do Vapor da Fervura e Condição Básica das Válvulas de Vapor na Fervura;

Estes tópicos seguem a lógica detalhada nos pontos VII e VIII, sendo aqui referentes à etapa de ebulição do mosto.

XVII. Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras de Fervura;

Este tópico segue a lógica detalhada no ponto IX, sendo aqui referente à etapa de ebulição do mosto.

XVIII. Condição Básica das Calândrias das Caldeiras de Fervura;

O fornecimento de vapor nas caldeiras de fervura não se dá sob a forma de camisas de aquecimento, que revestem as caldeiras das caldas e de empastagem, mas sim através de permutadores de calor tubulares existentes no seu interior. Este tipo de permutador, conhecido como calândria, força o mosto a adquirir movimentos de convecção, ascendentes e descendentes, provocados pelas diferenças de temperatura da mistura. Em particular, o mosto mais frio tende a descender e entrar nos feixes tubulares, que, superaquecidos pelo vapor, provocam o seu aumento de temperatura e consequente ascensão. Esta responsabilidade pelo fenómeno de transferência de calor obriga a que as calândrias tenham de estar na sua condição básica para assegurar o cumprimento dos patamares de tempo e temperatura predefinidos. A criticidade dada às calândrias das caldeiras de fervura, em relação às camisas de aquecimento das caldeiras das caldas e de empastagem, deve-se ao facto de nesta etapa, por norma, serem atingidas temperaturas bem mais elevadas que nas etapas anteriores, contribuindo de forma mais impactante para o ganho de cor da mistura.

XIX. Taxa de Evaporação na Ebulição;

A taxa de evaporação na fervura é um parâmetro definido internamente para cada marca e que também tem impacto na cor do mosto ao influenciar a quantidade de água final da mistura. Neste sentido, quanto maior a taxa de evaporação aquando da ebulição do mosto, menor o seu teor final em água e mais evidenciada fica a cor.

XX. Tempo de Estacionamento do Mosto no *Whirlpool*;

Findo o tempo de fervura, o mosto é enviado quente para a fase seguinte de clarificação no *whirlpool*, cujo tempo de estacionamento é definido internamente para cada marca. Durante a sua permanência neste equipamento, o mosto sofre um ganho contínuo de cor pelas altas temperaturas a que ainda se encontra, um fenómeno que perdura até à posterior etapa de arrefecimento. Ademais, a possibilidade de incorporação de ar promove as reações de

oxidação dos polifenóis que contribuem igualmente para este incremento. Assim, quanto maior o tempo de estacionamento do mosto no *whirlpool*, maior o aumento de cor.

XXI. Condição Básica dos Sensores de Nível Baixo das Caldeiras de Fervura;

O tempo definido de estacionamento do mosto no *whirlpool* apenas começa a ser contabilizado após transferência de todo o conteúdo da caldeira de fervura. Este sinal é dado pelo sensor de nível baixo presente nas caldeiras de fervura, pelo que é necessário garantir o correto funcionamento deste equipamento de modo a não comprometer as especificações temporais delineadas. Caso este sensor se encontre danificado, então o sinal de vazio da caldeira e subsequente arranque do tempo de estacionamento no *whirlpool* não é efetuado, o que fará com que o mosto permaneça por muito mais tempo a temperaturas elevadas e sofra um aumento anormal de cor.

XXII. Condição Básica dos Permutadores de Mosto Quente;

O ganho contínuo de cor em virtude das altas temperaturas a que se encontra o mosto até então é interrompido pelo seu arrefecimento em permutadores. Para tal, é necessário garantir a sua condição básica operacional, que está ainda dependente do correto funcionamento das suas sondas de temperatura e caudalímetros.

XXIII. Condição Básica das Sondas de Temperatura dos Permutadores de Mosto Quente;

Para que o arrefecimento do mosto ocorra às temperaturas delineadas, as sondas de temperatura dos vários estágios de arrefecimento têm de estar devidamente operacionais. Caso contrário, o mosto poderá, por um lado, estar a ser arrefecido a temperaturas superiores às pretendidas e não levar ao cessar completo das reações que contribuem para o aumento da cor, ou, por outro lado, demorar mais tempo a vazar do *whirlpool* por estar a ser arrefecido a temperaturas inferiores às delineadas. Ambos estes cenários contribuem para um aumento anormal de cor.

XXIV. Condição Básica dos Caudalímetros de Mosto Arrefecido;

Ao longo do circuito de arrefecimento do mosto estão instalados caudalímetros cujo *set-point* regula a velocidade com que o mosto é vazado do *whirlpool* e arrefecido. Como tal, é fundamental que estes equipamentos estejam em devido funcionamento para garantirem o

correto fluxo de vazamento de mosto quente do *whirlpool* e posterior arrefecimento à temperatura indicada. Se o caudal for inferior ao normal estipulado, então o mosto demorará mais tempo até ser arrefecido, mas este fenómeno poderá ser mais eficaz pois o tempo de contacto com as superfícies refrigeradas é superior. Inversamente, se o caudal for superior ao normal, o mosto é mais rapidamente arrefecido, mas esta transferência de calor poderá não ser tão eficiente pelo reduzido tempo de contacto.

XXV. Cor do Extrato de Malte;

O extrato de malte, no papel de matéria-prima utilizada no procedimento de correção de cor da cerveja filtrada, também possui uma cor desmedida quando comparada à cor final das cervejas em estudo. Segundo o fornecedor, a cor do extrato de malte optado pela SCC pode variar entre 16500 e 17500 EBC, sendo especificada no certificado de análise que acompanha cada lote de produto (PureMalt, 2022). Da mesma forma, variações da cor desta matéria-prima podem significar uma perda de controlo da cor final pretendida.

XXVI. Quantidade de Extrato de Malte;

Dada a gama de cor do extrato de malte em relação à cor final de Sagres® e Heineken®, pequenas variações na quantidade desta matéria-prima podem levar a grandes variações de cor finais. Esta relevância torna imperioso o correto cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear.

XXVII. Procedimento de Adição de Extrato de Malte;

A eficiência da etapa de correção de cor da cerveja filtrada resulta, além do cálculo acertado da quantidade de extrato de malte a dosear, da garantia que o seu procedimento de adição é corretamente seguido. Este método depende tanto de fatores relacionados com o próprio equipamento de correção de cor, mas também com o fator mão-de-obra pois este processo não está totalmente automatizado.

XXVIII. Condição Básica da Balança do Equipamento de Correção de Cor;

A quantidade de extrato de malte estimada a ser doseada é pesada através da balança do próprio equipamento de correção de cor, pelo que esta deve estar em pleno funcionamento.

Caso esta balança esteja descalibrada, por exemplo, o valor de extrato de malte indicado não será o pretendido e a cor final da cerveja não corresponderá à cor pretendida.

XXIX. Condição Básica do Caudalímetro do Equipamento de Correção de Cor;

O equipamento de correção de cor tem associado um caudalímetro que ajusta o doseamento de extrato de malte com base no caudal real de cerveja em linha e num rácio de cor que compreende a quantidade total de extrato de malte a ser doseada e o volume da produção. Desta forma, é este componente que assegura que a quantidade de extrato de malte incorporada é a pretendida e que este procedimento se deu de forma homogénea, sendo necessário, para tal, garantir a sua condição básica. Quando o caudalímetro está descalibrado, por exemplo, o doseamento poderá não ser homogéneo e poderá incluir quantidades de extrato de malte incorretas.

XXX. Condição Básica do Sensor de Nível Baixo do Equipamento de Correção de Cor;

O doseamento da correta quantidade de extrato de malte também depende do funcionamento do sensor de nível baixo do equipamento de correção de cor dado que é este que indica quando o caldeiro está vazio. Se este equipamento não se encontrar a medir corretamente e indicar que o caldeiro está vago, então interromperá antecipadamente a incorporação de extrato de malte e a cor final ficará aquém da esperada.

XXXI. Condição Básica dos Condutivímetros de Retorno associados aos Equipamentos com apenas Limpeza Cáustica;

Quando mal executados, alguns procedimentos de limpeza no local, comumente designados de CIP, de *Cleaning In Place*, podem contribuir para o aumento de cor da cerveja graças à reação com vestígios de soda cáustica que não foram devidamente eliminados pelos ciclos de enxaguamento com água. A garantia de ausência de resíduos de soda nos equipamentos e circuitos após uma CIP é dada pelos condutivímetros de retorno quando a condutividade registada é ínfima, pelo que estes equipamentos devem estar em ótimas condições. Caso contrário, o Sistema pode interromper inadvertidamente os ciclos de água por considerar já não existirem resíduos de soda quando, afinal, a condutividade ainda é significativa.

No final, são estes pontos Q e respetivos padrões que seguirão para a constituição das matrizes QM.

7.2.3 Matriz QM

A matriz QM permite a identificação de oportunidades de melhoria para o modo de defeito em causa ao apurar o grau de controlo de cada ponto crítico identificado.

Primeiramente, neste trabalho, cada ponto Q foi classificado em uma ou mais das cinco categorias de principais causas de desvios, mais conhecidas por 5 Ms por compreenderem causas relacionadas com Máquina, Método, Medição, Mão-de-Obra e Material. Ou seja, para cada ponto crítico identificado, averiguou-se sobre qual ou quais destas categorias estão maioritariamente dependentes de forma a se compreender e segmentar as eventuais origens para a ocorrência de falhas de cor. Isto é importante dado que para cada categoria 5M existe uma matriz QM, que consiste num conjunto predefinido de cinco perguntas, denominadas de "cinco perguntas para zero defeitos", e respetivas três opções de resposta. Estas três respostas pretendem traduzir, para variadas situações, o nível de desempenho dos padrões associados aos pontos Q em fraco, intermédio ou forte, com a atribuição respetiva de um, três ou cinco pontos. No fim, para cada causa 5M identificada, a pontuação total das respostas às cinco perguntas espelha o estado de cada parâmetro segundo a escala:

- **5 a 14 pontos:** O padrão precisa de melhorias urgentes;
- **15 a 19 pontos:** Bom padrão, com oportunidade para melhorias adicionais;
- **20 a 25 pontos:** Excelente padrão, deve manter o nível.

Posto isto, os padrões dos 31 pontos Q selecionados para a cor da cerveja e respetiva categorização e pontuação nas matrizes QM está sistematizada na Tabela 7.1. Aqui, nota-se que a maioria dos padrões dos pontos críticos, cerca de 20, estão dependentes de fatores relacionados com Máquinas, seguindo-se 12 causas relativas a Medição, 10 sobre Método, três de Material, e apenas duas referentes a Mão-de-Obra. No universo de todas estas entradas das várias matrizes QM, as piores pontuações parecem estar associadas às causas de Material e Medição, com a maior parte dos padrões destes âmbitos a necessitarem de melhorias urgentes ou com oportunidade para melhorias adicionais.

Tabela 7.1 Pontuações totais das matrizes QM associadas aos padrões dos pontos Q para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes.

PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	PADRÃO	PONTUAÇÃO TOTAL				
		QM Máquina	QM Método	QM Medição	QM Material	QM Mão- de-Obra
Cor do Malte <i>Pilsen</i>	3,00 a 4,00 EBC	-	21	-	15	-
Cor do Malte Carafa	800,00 a 1000,00 EBC	-	19	-	9	-
Quantidade de Malte Carafa	Cumprimento da Receita (Ajustada e Alterada Quando Necessário)	-	15	-	-	21
Condição Básica da Balança do Malte Carafa	Calibrada	21	-	19	-	-
Condição Básica das Bâsculas do <i>Mechamasher</i>	Calibradas	19	-	19	-	-
Tempo e Temperatura nas Caldas	Cumprimento do Diagrama das Caldas	-	21	-	-	-
Condição Básica dos Sensores de Pressão nas Linhas do Vapor das Caldas	Em Condições e a Garantir a Taxa de Aquecimento	23	-	-	-	-
Condição Básica das Válvulas de Vapor nas Caldas	Em Condições e a Funcionar de acordo com o <i>Set-point</i>	23	-	-	-	-

Tabela 7.1 Pontuações totais das matrizes QM associadas aos padrões dos pontos Q para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes (Continuação).

PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	PADRÃO	PONTUAÇÃO TOTAL				
		QM Máquina	QM Método	QM Medição	QM Material	QM Mão- de-Obra
Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras das Caldas	Calibrada	19	-	19	-	-
Tempo e Temperatura na Empastagem	Cumprimento do Diagrama de Empastagem	-	21	-	-	-
Condição Básica dos Sensores de Pressão nas Linhas do Vapor da Empastagem	Em Condições e a Garantir a Taxa de Aquecimento	23	-	-	-	-
Condição Básica das Válvulas de Vapor na Empastagem	Em Condições e a Funcionar de acordo com o <i>Set-point</i>	23	-	-	-	-
Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras de Empastagem	Calibrada	19	-	19	-	-
Tempo e Temperatura de Ebulição	Cumprimento da Receita	-	21	-	-	-
Condição Básica dos Sensores de Pressão nas Linhas do Vapor da Fervura	Em Condições e a Garantir a Taxa de Aquecimento	23	-	-	-	-

Tabela 7.1 Pontuações totais das matrizes QM associadas aos padrões dos pontos Q para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes (Continuação).

PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	PADRÃO	PONTUAÇÃO TOTAL				
		QM Máquina	QM Método	QM Medição	QM Material	QM Mão- de-Obra
Condição Básica das Válvulas de Vapor na Fervura	Em Condições e a Funcionar de acordo com o <i>Set-point</i>	23	-	-	-	-
Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras de Fervura	Calibrada	19	-	19	-	-
Condição Básica das Calândrias das Caldeiras de Fervura	Em Condições e a Funcionar de acordo com o <i>Set-point</i>	21	-	-	-	-
Taxa de Evaporação na Ebulição	Cumprimento da Receita	-	21	-	-	-
Tempo de Estacionamento no <i>Whirlpool</i>	Cumprimento da Receita	-	21	-	-	-
Condição Básica dos Sensores de Nível Baixo das Caldeiras de Fervura	A Ler Corretamente	21	-	17	-	-
Condição Básica dos Permutadores de Mosto Quente	Em Condições e a Funcionar de acordo com o <i>Set-point</i>	21	-	-	-	-
Condição Básica das Sondas de Temperatura dos Permutadores de Mosto Quente	Calibrada	21	-	21	-	-

Tabela 7.1 Pontuações totais das matrizes QM associadas aos padrões dos pontos Q para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes (Continuação).

PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	PADRÃO	PONTUAÇÃO TOTAL				
		QM Máquina	QM Método	QM Medição	QM Material	QM Mão- de-Obra
Condição Básica dos Caudalímetros de Mosto Arrefecido	Calibrado	21	-	19	-	-
Cor do Extrato de Malte	16500 a 17500 EBC	-	-	-	19	-
Quantidade de Extrato de Malte	De acordo com o Cálculo Prévio	-	15	-	-	-
Procedimento de Adição de Extrato de Malte	Cumprimento das Ordens	-	15	-	-	19
Condição Básica da Balança do Equipamento de Correção de Cor	Calibrada	17	-	19	-	-
Condição Básica do Caudalímetro do Equipamento de Correção de Cor	Calibrado	19	-	19	-	-
Condição Básica do Sensor de Nível Baixo do Equipamento de Correção de Cor	A Ler Corretamente	21	-	17	-	-
Condição Básica dos Condutivímetros de Retorno Associados Aos Equipamentos com apenas Limpeza Cáustica	Calibrado e Leitura de 0,6 milisiemens (mS)	21	-	19	-	-

Para todos os pontos Q com pontuações abaixo de 20, isto é, com padrões com necessidade de melhorias urgentes ou com oportunidade de melhorias adicionais, foram sugeridas várias estratégias de melhoria para aumentar o seu nível de controlo. Com isto, para 17 dos 31 pontos Q iniciais foram propostas 31 ações de melhoria diferentes, como mostra a Tabela 7.2, mas nem todas passíveis de serem adotadas.

Na secção de Brassagem, foram propostas 15 estratégias de melhoria para sete pontos Q. Relativamente às sugestões para a manutenção das condições básicas da balança do malte carafa, das básculas do *mechamasher*, e das sondas de temperatura das várias caldeiras, a maioria não tem margem para ser executada por se focar na troca ou instalação de novos equipamentos. Isto acontece para praticamente todas as matrizes QM de Medição, cujo desempenho máximo exige a existência de outro instrumento de medição em paralelo para uma maior deteção de desvios e de equipamentos com uma incerteza ínfima. Apesar de ideal, este cenário não é concretizável, o que não representa uma grande limitação pois, na realidade, não parece que dele advenham problemas muito significativos para o parâmetro da cor da cerveja. Outras ações relativas às sondas de temperatura das caldeiras, relacionadas com as matrizes QM de Máquina e que implicam a emissão de alertas pelo Sistema quando o tempo de permanência nas caldeiras está desviado do programado de forma a auxiliar a deteção de possíveis descalibrações, estão sob análise visto estarem também alinhadas com a melhoria do indicador FTR relativo ao Tempo de Fabrico. Para a condição básica das básculas do *mechamasher* e do sensor de nível baixo das caldeiras de fervura estão ainda sugeridas ações de boas-práticas que envolvem, respetivamente, o agendamento de calibrações para períodos fora de produção de modo a evitar tempos de paragem prolongados e a monitorização contínua do funcionamento para deteção antecipada de eventuais anomalias. As únicas estratégias que tiveram seguimento estão relacionadas com o ponto Q da quantidade de malte carafa, que, apesar de estar previamente definida em cada receita, tende a sofrer alguns ajustes e alterações quando necessário. Estes ajustes estão dependentes do controlo diário da cor do mosto quente, consoante o descrito na secção 6.2 Plano de Amostragem para Determinação da Cor, que tende a sofrer algumas variações face às oscilações da cor do malte carafa intra e inter lotes. Como tal, para padronizar e garantir a correta execução deste procedimento, sugeriu-se a atualização da LUP relativa à recolha e preparação das amostras de mosto quente. Ademais, foi ainda proposta a tentativa de antecipação deste ponto de amostragem de forma que a determinação da cor do fabrico e eventual correção da quantidade de malte carafa se dê com maior brevidade.

Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas.

FASE DO PROCESSO	ETAPA	EQUIPAMENTO OU COMPONENTE DO EQUIPAMENTO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	MATRIZ QM	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS
BRASSAGEM	Receção do Malte e Adjuntos	Balança do Malte Carafa	Quantidade de Malte Carafa	QM Método	Atualização da LUP de recolha e preparação das amostras de mosto quente para determinação de cor de modo a garantir a correta execução deste procedimento
					Antecipação, no processo produtivo, da recolha da amostra de mosto para determinação de cor de forma a ser possível a eventual correção da quantidade de malte carafa com maior brevidade
			Condição Básica da Balança do Malte Carafa	QM Medição	Instalação de um caudalímetro em linha para confirmação dos valores pesados pela balança
	Mistura do Malte, Adjuntos, Água e Enzimas	Básculas do <i>Mechamasher</i>	Condição Básica das Básculas do <i>Mechamasher</i>	QM Máquina	Agendamento das ações de calibração para períodos fora de produção de modo a evitar tempos de paragem muito prolongados
				QM Medição	Instalação de um caudalímetro em linha para confirmação dos valores pesados pelas básculas

Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas (Continuação).

FASE DO PROCESSO	ETAPA	EQUIPAMENTO OU COMPONENTE DO EQUIPAMENTO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	MATRIZ QM	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS
BRASSAGEM	Caldas	Sondas de Temperatura das Caldas	Condição Básica das Sondas de Temperatura das Caldeiras das Caldas	QM Máquina	Emissão de um alerta pelo Sistema quando o tempo de permanência na caldeira das caldas excede o programado, auxiliando na detecção de possíveis descalibrações
				QM Medição	Substituição das sondas de temperatura por outras com uma menor incerteza associada para aumentar a exatidão das medições
					Instalação de outra sonda de temperatura para medição em paralelo
	Empastagem	Sondas de Temperatura da Empastagem	Condição Básica das Sondas de Temperatura da Empastagem	QM Máquina	Emissão de um alerta pelo Sistema quando o tempo de permanência na caldeira de empastagem excede o programado, auxiliando na detecção de possíveis descalibrações
				QM Medição	Substituição das sondas de temperatura por outras com uma menor incerteza associada para aumentar a exatidão das medições
					Instalação de outra sonda de temperatura para medição em paralelo

Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas (Continuação).

FASE DO PROCESSO	ETAPA	EQUIPAMENTO OU COMPONENTE DO EQUIPAMENTO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	MATRIZ QM	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS
BRASSAGEM	Ebulição do Mosto	Sondas de Temperatura da Fervura	Condição Básica da Sondas de Temperatura das Caldeiras de Fervura	QM Máquina	Emissão de um alerta pelo Sistema quando o tempo de permanência na caldeira de fervura excede o programado, auxiliando na detecção de possíveis descalibrações
				QM Medição	Substituição das sondas de temperatura por outras com uma menor incerteza associada para aumentar a exatidão das medições
					Instalação de outra sonda de temperatura para medição em paralelo
		Sensor de Nível Baixo	Condição Básica dos Sensores de Nível Baixo das Caldeiras de Fervura	QM Medição	Monitorização contínua do funcionamento dos sensores por comparação com os valores medidos pelos caudalímetros associados às caldeiras e análise do fluxo de produção, de forma a detetar possíveis anomalias
FERMENTAÇÃO E GUARDA	Arrefecimento do Mosto	Caudalímetros de Mosto Arrefecido	Condição Básica dos Caudalímetros de Mosto Arrefecido	QM Medição	Substituição dos caudalímetros por outros com uma menor incerteza associada para aumentar a exatidão das medições
					Instalação de outro caudalímetro para medição em paralelo

Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas (Continuação).

FASE DO PROCESSO	ETAPA	EQUIPAMENTO OU COMPONENTE DO EQUIPAMENTO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	MATRIZ QM	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS
FILTRAÇÃO	Correção de Cor	Equipamento de Correção de Cor	Quantidade de Extrato de Malte	QM Método	Revisão da fórmula de cálculo, que não está ajustada para situações de multiproduto
			Procedimento de Adição de Extrato de Malte	QM Método e Mão-de-Obra	Realização de LUPs para o procedimento de doseamento do extrato de malte, de forma a garantir a correta execução deste procedimento
				QM Método	Gravação de uma escala graduada no interior do caldeiro do equipamento onde é inserido o extrato de malte como auxílio visual para a sua pesagem
					Instalação de um sistema de doseamento automático de extrato de malte para a mecanização deste procedimento e diminuição das falhas resultantes

Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas (Continuação).

FASE DO PROCESSO	ETAPA	EQUIPAMENTO OU COMPONENTE DO EQUIPAMENTO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	MATRIZ QM	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS
FILTRAÇÃO	Correção de Cor	Balança do Equipamento de Correção de Cor	Condição Básica da Balança do Equipamento de Correção de Cor	QM Máquina	Instalação de um sistema de doseamento automático de extrato de malte para facilitar a regulação do equipamento e resultar numa diminuição de falhas de pesagem
				QM Máquina e Medição	Cumprimento do plano de calibração para garantia do bom funcionamento da balança e da correta pesagem de extrato de malte
					Realização de uma carta de controlo para monitorizar eventuais descalibrações da balança
		Caudalímetro do Equipamento de Correção de Cor	Condição Básica do Caudalímetro do Equipamento de Correção de Cor	QM Máquina e Medição	Cumprimento do plano de calibração para garantia do bom funcionamento do caudalímetro e do correto doseamento de extrato de malte
					Realização de uma carta de controlo para monitorizar eventuais descalibrações do caudalímetro
		Sensor de Nível Baixo do Equipamento de Correção de Cor	Condição Básica do Sensor de Nível Baixo do Equipamento de Correção de Cor	QM Medição	Monitorização contínua do funcionamento dos sensores por comparação com os valores medidos pela balança do mesmo equipamento, de forma a detetar possíveis anomalias

Tabela 7.2 Ações de melhoria propostas para os padrões dos pontos Q com pontuações nas matrizes QM inferiores a 20, com detalhe da fase do processo, etapa e equipamento ou componente do equipamento correspondente. A verde estão marcadas as ações de melhoria que foram posteriormente concretizadas (Continuação).

FASE DO PROCESSO	ETAPA	EQUIPAMENTO OU COMPONENTE DO EQUIPAMENTO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	MATRIZ QM	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS
	CIP	Condutivímetros de Retorno associados aos Equipamentos apenas com Limpeza Cáustica	Condição Básica dos Condutivímetros de Retorno associados aos Equipamentos apenas com Limpeza Cáustica	QM Medição	Substituição dos condutivímetros por outros com menor incerteza associada para aumentar a exatidão das medições
					Instalação de outro condutivímetro para medição em paralelo
		Cor do Malte <i>Pilsen</i>		QM Material	Ajuste do intervalo de especificação interno da cor do malte <i>Pilsen</i> de forma a alinhar as especificações teóricas com os valores reais
		Cor do Malte Carafa		QM Método e Material	Simplificação do método de determinação de cor do malte carafa para que seja possível iniciar os fabricos semanais seguintes deste malte com o valor de cor da semana anterior (atualização constante da amostra padrão)
				QM Material	Ajuste do intervalo de especificação interno da cor do malte carafa de forma a alinhar as especificações teóricas com os valores reais
		Cor do Extrato de Malte		QM Material	Consideração da cor dos diferentes lotes de extrato de malte na fórmula de cálculo da quantidade a dosear para minimizar o impacto desta variação no processo

Na secção de Fermentação e Guarda, as duas ações sugeridas para o único ponto Q de baixa pontuação, relativo à condição básica dos caudalímetros de mosto arrefecido, foram oprimidas por irem igualmente ao encontro da troca ou instalação de novos equipamentos, como exigido pela matriz QM de Medição.

Por último, na secção de Filtração, foram feitas oito propostas de melhoria para um total de cinco pontos Q, todos referentes à etapa de correção de cor. Aqui, a maioria das ações foi aceite, incluindo a realização de LUPs relativas ao procedimento de doseamento de extrato de malte, a revisão da fórmula de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear, o agendamento de calibrações para a balança e caudalímetro do equipamento de correção de cor, e a realização de uma carta de controlo para monitorizar a operacionalidade destes componentes. Para a condição básica do sensor de nível baixo deste equipamento, foi sugerida uma ação de boas-práticas que passa pela monitorização contínua do seu funcionamento dado que não apresenta um plano de calibração definido. As restantes sugestões, como a gravação de uma escala graduada no interior do caldeiro do equipamento de correção de cor para auxiliar visualmente a pesagem de extrato de malte e a instalação de um sistema de doseamento automático deste produto para a automatização do procedimento, não foram avante por questões microbiológicas e financeiras, respetivamente.

Além destes pontos Q que se encaixam ao longo do processo produtivo da cerveja, vale destacar outro relacionado com as etapas de CIP para o qual as únicas propostas de melhoria para que o padrão atingisse a excelência foram a troca ou instalação de novos condutivímetros para medições em paralelo e de maior exatidão, o que não é passível de ser concretizado.

Relativamente às matérias-primas, foram distinguidos três pontos Q e dadas quatro sugestões de melhoria, todas colocadas posteriormente em prática. Quanto à cor do malte *Pilsen* e malte carafa, deve-se ajustar os intervalos de especificação internos de forma a estarem alinhados com os valores reais. O método de determinação da cor do malte carafa também deverá ser simplificado para que seja possível iniciar as produções semanais seguintes deste tipo de malte com o valor médio de cor da semana anterior, funcionando como padrão para que se garanta a homogeneidade entre fabricos. A cor do extrato de malte, embora não tenha obtido uma pontuação excelente na matriz QM por apresentar alguma variação entre lotes, é um parâmetro extrínseco à Empresa. Como tal, apenas resta considerar a cor dos diferentes lotes na fórmula de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear para minimizar o impacto desta variação na cor da cerveja.

Todas as ações de melhoria com seguimento, marcadas a verde na Tabela 7.2, serão abordadas em detalhe na secção seguinte 7.3 Desenvolvimento das Ações de Melhoria.

7.3 Desenvolvimento das Ações de Melhoria

O planeamento das ações de melhoria para a redução de falhas de cor ao longo do processo produtivo de cerveja deu-se, em parte, sobre a problemática identificada da falta de homogeneidade da cor do malte carafa, que, por sua vez, leva à necessidade constante do ajuste da sua quantidade para o fabrico do mosto. Além destas, foram também desenvolvidas ações de melhoria sobre a aparente falta de controlo da etapa de correção de cor com extrato de malte, isto devido à fraca operacionalidade do equipamento e à fórmula de cálculo da quantidade a dosear deste produto que se veio a demonstrar estar desajustada. Todas estas estratégias de melhoria são seguidamente detalhadas, com uma respetiva divisão pelas diversas áreas do processo onde se incluem.

Ademais, dados os inúmeros ajustes que têm sido feitos nas receitas de Sagres® e Heineken® ao longo dos últimos tempos, houve a necessidade de averiguar se os intervalos de especificação de cor nas diversas fases do processo para estas marcas ainda permanecem adequados.

7.3.1 Análise aos Limites de Especificação para Cor

A ocorrência de alterações em alguns dos parâmetros produtivos do processo de fabricação de cerveja pode ter um impacto significativo na cor, principalmente se tiverem efeito sobre os pontos Q identificados na secção 7.2.2.1 Determinação dos Pontos Críticos de Qualidade. Como tal, procedeu-se à análise dos dados de cor de Sagres® e Heineken® por forma a compreender se, de um modo geral, estavam em conformidade com os limites de especificação estabelecidos. Contudo, este estudo foi precedido pela análise da adequação dos limites de especificação para o parâmetro de qualidade de extrato, uma vez que este atributo tem uma forte relevância na indústria cervejeira e está intimamente ligado com a cor desta bebida. A relação entre estes parâmetros é estreitada pelo facto de, na SCC, se seguir um modo de produção HGB que implica a diluição final da cerveja conforme as especificações de extrato, o que origina a uma proporcional atenuação da cor final.

Para a cerveja Sagres®, o estudo sobre a conformidade das amostras de extrato com os respetivos limites de especificação, que não está demonstrado neste documento, revelou que

estes se encontravam desadequados na fase de Guarda, ou seja, em relação às amostras de cerveja verde. De facto, a SCC tem vindo a conseguir anular o fenómeno de quebra de extrato que tendia a ocorrer entre as fases de Brassagem e Guarda, o que faz com que, atualmente, os valores de extrato das amostras de cerveja verde sejam equivalentes aos valores de extrato das amostras de mosto arrefecido. Desta forma, é expectável que os limites de especificação de cor das amostras da fase de Guarda tenham igualmente de ser ajustados, pois se, na generalidade, o extrato está mais elevado, espera-se que a cor também seja mais evidenciada. Assim sendo, procedeu-se à análise dos limites de especificação de cor de Sagres® nas diversas fases do processo.

Para tal, foram recolhidos todos os dados de cor de Sagres®, de 2021 e 2022, referentes às amostras de mosto arrefecido, cerveja verde e cerveja filtrada, que dizem respeito respetivamente, às fases de Brassagem, Guarda e Filtração. Todas estas amostras revelaram seguir uma distribuição normal, como mostrado, respetivamente, na Figura 7.8, Figura 7.9 e Figura 7.10.

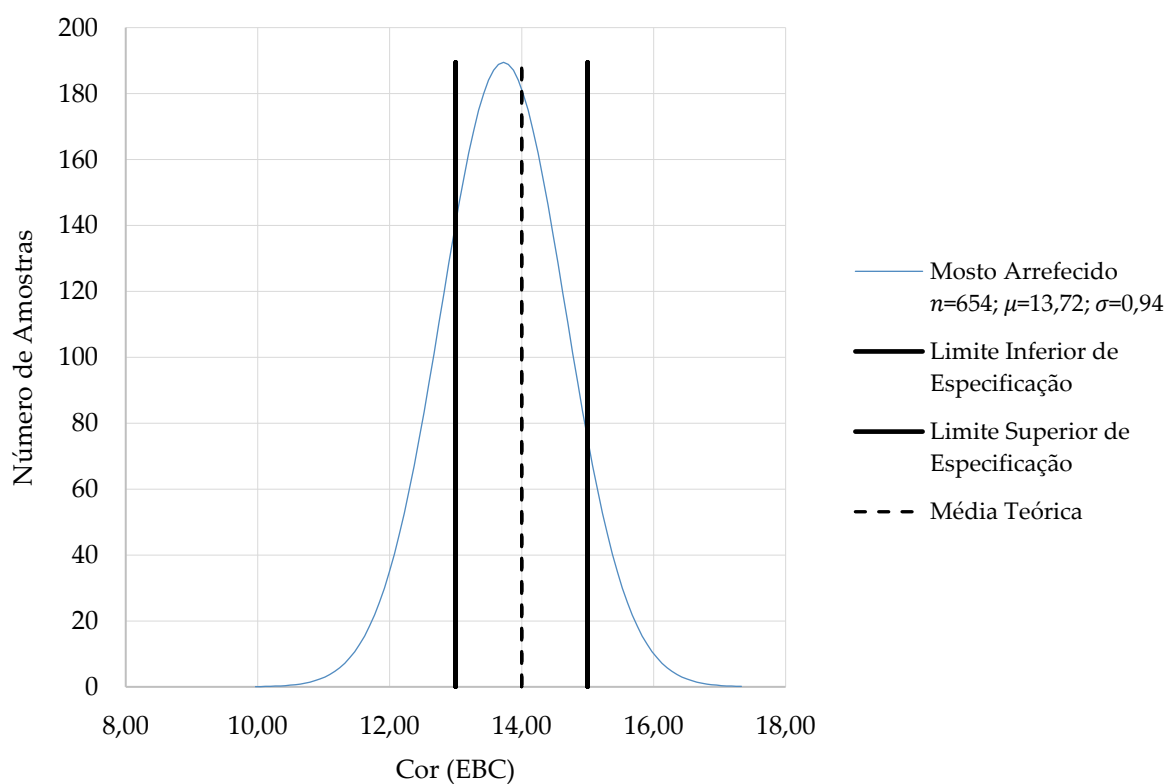


Figura 7.8 Distribuição normal dos valores de cor de mosto arrefecido de Sagres®, o correspondente à fase de Brassagem, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

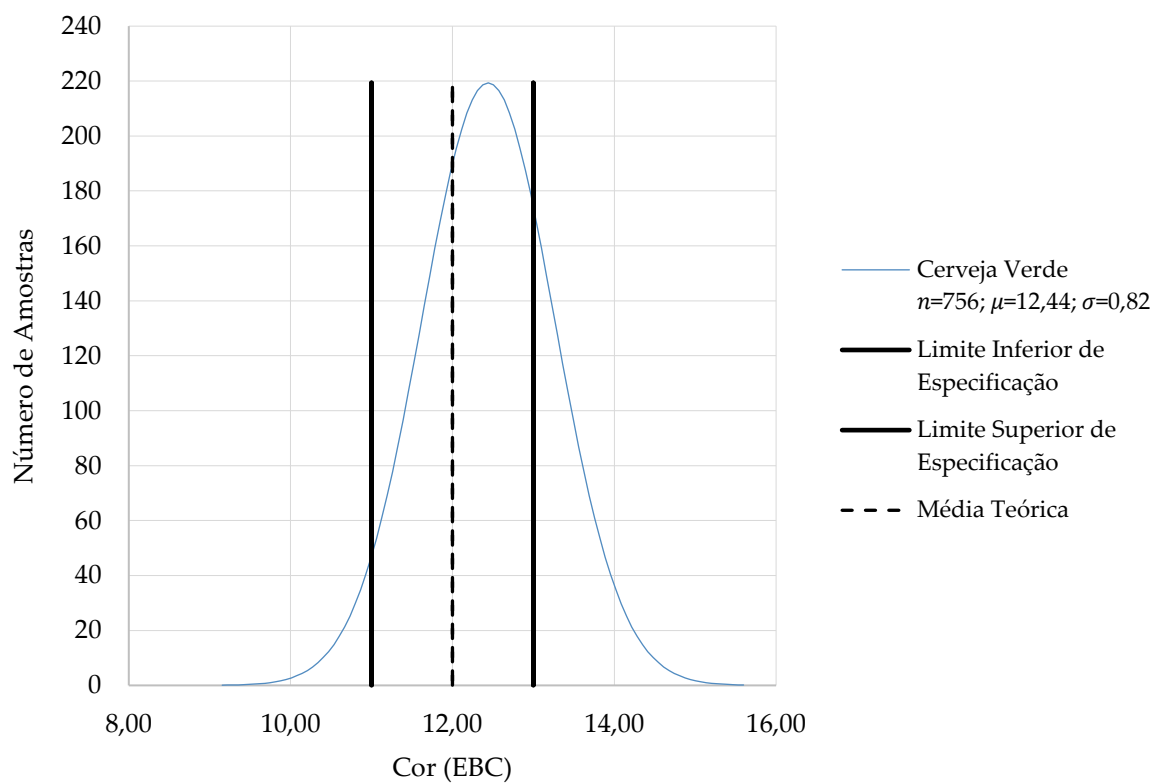


Figura 7.9 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja verde de Sagres®, o correspondente à fase de Guarda, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

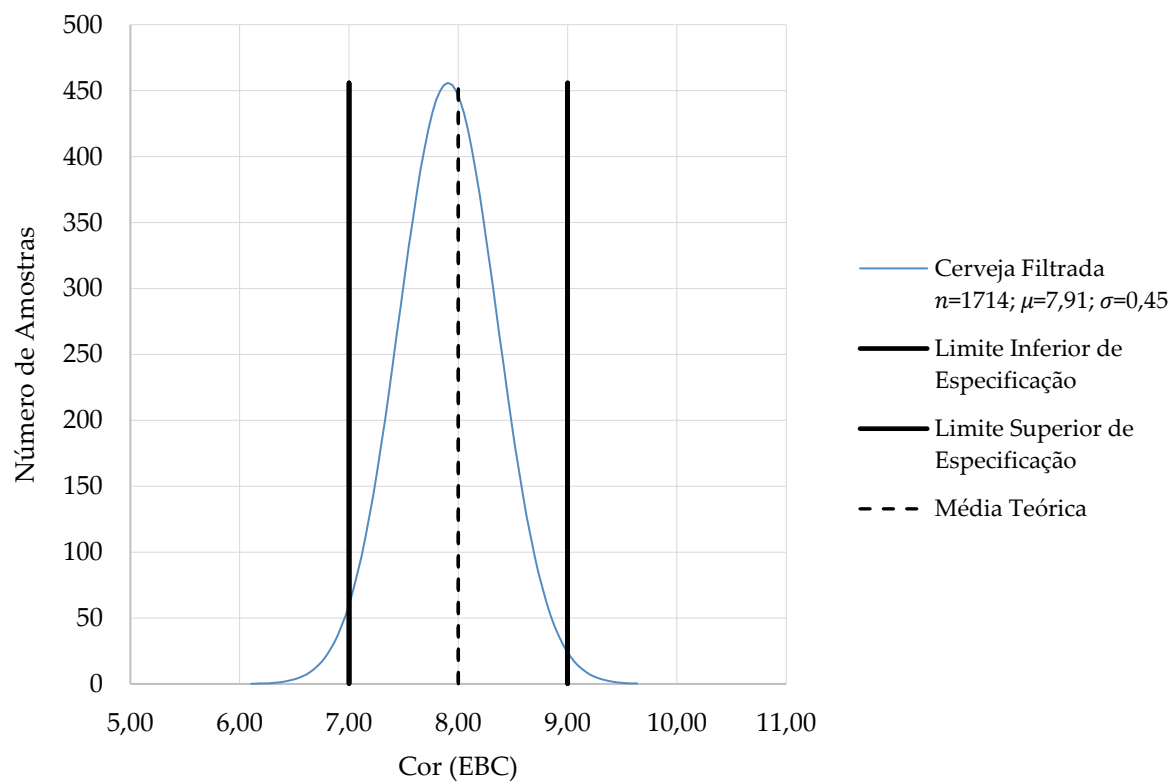


Figura 7.10 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja filtrada de Sagres®, o correspondente à fase de Filtração, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

Com esta análise, é notório que, para as amostras de Brassagem e Filtração, a média real calculada pelos dados de cor recolhidos aproxima-se da média teórica fixada pelos limites de especificação atuais, não parecendo haver necessidade de revisão. Para as primeiras, a média obtida foi de $13,72 \pm 0,94$ EBC, contra um valor expectável de 14,00 EBC. Apesar de esta diferença não se revelar significativa, vale notar a existência de alguma variabilidade entre os valores de cor de mosto, cuja responsabilidade pode ser atribuída, de entre outros tantos fatores, à falta de homogeneidade detetada intra e inter lotes de malte carafa. Esta problemática leva a uma necessidade constante de ajuste da quantidade deste tipo de malte, o que se traduz numa oscilação nos valores de cor. Já nas amostras de cerveja filtrada, a média obtida foi de $7,91 \pm 0,45$ EBC, aproximando-se do valor pretendido de 8,00 EBC. Aqui, a variabilidade é bem menor que nas restantes amostras visto que, por se tratar do produto final, o controlo é mais apertado.

Quanto às amostras de Guarda, estas revelam efetivamente um desvio da média obtida de $12,44 \pm 0,82$ EBC em relação à média teórica pretendida de 12,00 EBC, o que mostra uma necessidade de ajustar este intervalo de acordo com as condições operacionais atuais. Para tal, tendo em conta que, na prática, com uma média real de cor de 12,44 EBC em cerveja verde se obtém uma média de 7,91 EBC em cerveja filtrada, já tendo em conta a perda natural de cor que ocorre entre a Guarda e Filtração e a taxa de diluição aplicada, então para se obter uma média ideal de 8,00 EBC em produto final deverá ter-se uma média de cor teórica em cerveja verde de 12,59 EBC. Seguiu-se a mesma lógica para o cálculo dos novos limites de especificação, utilizando-se como base aqueles fixados para a cerveja filtrada, mas isto implica um aumento da amplitude do intervalo de $\pm 1,00$ EBC para, aproximadamente, $\pm 1,57$ EBC, com o LIE a ser 11,02 EBC e o LSE a ser 14,16 EBC. À primeira vista, este aumento da amplitude do novo intervalo de especificação não parece acarretar um risco acrescido para o processo pois estes valores limite para a cor de cerveja verde estão a ser calculados com base nas especificações finais pretendidas. Na verdade, a cor em Guarda depende, maioritariamente, da cor inicial do mosto e atua quase como que um meio para se atingir a finalidade da cor padrão em produto final. Portanto, desde que estes limites garantam que a cor da cerveja final estará dentro de especificação, então é aceitável o aumento da amplitude do intervalo de tolerância da cor da cerveja verde, até porque na etapa seguinte consegue-se atuar com procedimentos de correção de cor. De realçar que, somente este ajuste dos limites de especificação da cor de cerveja verde permitirá, em teoria, uma redução de falhas de 75,77%, sendo que esta previsão foi calculada a partir do número atual de falhas de cor que estariam

conforme as especificações se os limites fossem estes últimos. Ainda assim, nesta temática, foi-se perceber qual seria o efeito de manter a amplitude do intervalo de especificação para a nova média teórica calculada. Para tal, aos 12,59 EBC subtraiu-se 1,00 EBC para a obtenção do LIE e somou-se 1,00 EBC para o LSE, obtendo-se os valores de 11,59 EBC e 13,59 EBC, respetivamente. Este intervalo conseguiria uma redução de falhas de apenas 19,07%, o que é muito inferior ao impacto da proposta anterior que acabou por ser a selecionada.

Com o ajuste dos limites de especificação de Guarda, foi-se averiguar se também seria necessário mudar os de Brassagem dado ser a amostra imediatamente precedente. Pelo meio destas etapas, ocorre uma natural perda de cor que foi quantificada em 1,28 EBC, um valor obtido pelas diferenças das médias reais entre estas duas fases. Assim, é de esperar que a cor das amostras de mosto arrefecido tenham, em média, mais 1,28 EBC do que as amostras de cerveja verde, ou seja, esta deveria ser de 13,87 EBC ao invés dos 14,00 EBC atualmente fixados. No entanto, esta diferença não se mostrou de grande significância, pelo que os limites de especificação não foram alterados.

Todo esta análise foi igualmente seguida para a cerveja Heineken®. Para a primeira parte, cujos dados também não estão exibidos neste trabalho, os valores reais de extrato mostraram estar adequados com os limites de especificação atuais para este parâmetro, o que também se deve a uma atualização mais recente destes fatores. Posteriormente, comprovou-se que todas as amostras consideradas para o efeito seguiam uma distribuição normal, nomeadamente as amostras de mosto arrefecido, cerveja verde e maturada, e cerveja filtrada, tal como realçado, respetivamente, na Figura 7.11, Figura 7.12 e Figura 7.13. Contudo, neste caso, como a última alteração da receita que teve um impacto significativo na cor era algo recente, apenas foram consideradas as amostras posteriores a esse ajuste, que data de julho de 2022. Para compensar a fraca dimensão dos dados, foram incluídos ainda os resultados de cor até ao final de fevereiro de 2023.

Observando-se os dados das amostras de Brassagem, nota-se uma grande discrepância da média real de cor contra os 10,00 EBC estabelecidos pelo intervalo de especificação atual. Desta forma, é clara a necessidade de ajuste destes limites de especificação, que devem passar a estar centrados no valor de cor real obtido de $8,99 \pm 1,11$ EBC. A partir deste, e de modo a manter a amplitude do intervalo, para o LIE subtraiu-se 1,00 EBC e para o LSE somou-se 1,00 EBC, alcançando-se os limites de 7,99 EBC e 9,99 EBC, respetivamente. De facto, para a fase de Brassagem, não é recomendável o aumento da amplitude do intervalo de especificação de cor pois isto acarreta alguns riscos derivados da permissão de uma maior variabilidade do

processo, que posteriormente se pode traduzir na ocorrência de falhas que se perpetuam ao longo das etapas seguintes. Assim, com esta proposta de alteração, observa-se um aumento teórico de falhas de 8,77%, algo que é desprezável pois é o equivalente a apenas 5 falhas. Ademais, o intervalo proposto revela-se mais centrado com os valores de cor reais, sendo mais representativo das condições atuais do processo.

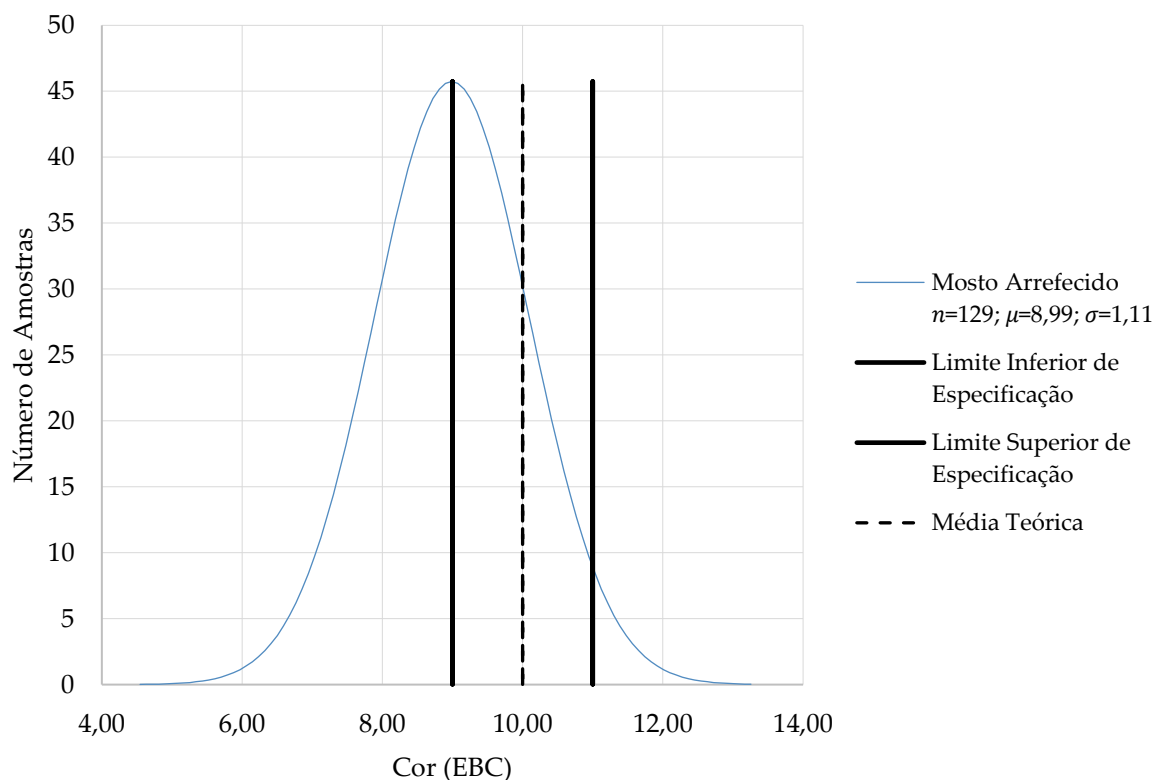


Figura 7.11 Distribuição normal dos valores de cor de mosto arrefecido de Heineken®, o correspondente à fase de Brassagem, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

Posteriormente, para a Guarda, também é notável um grande desvio entre a média dos valores de cor das amostras de cerveja verde e maturada em relação ao valor alvo de 9,87 EBC, tal como era expectável dadas as irregularidades detetadas na fase antecedente. Como tal, o ajuste deste intervalo de especificação deve dar-se em torno do valor médio real de cor observado de $7,80 \pm 0,97$ EBC, com os novos limites de especificação a serem calculados com base na amplitude deste intervalo. Neste caso, a amplitude é já superior ao habitual, sendo que para o LIE subtraiu-se 1,20 EBC e para o LSE somou-se 1,20 EBC, obtendo-se, respetivamente, os limites de 6,60 EBC e 9,00 EBC. Mais uma vez, esta alteração parece mostrar um efeito muito positivo, assistindo-se a uma redução teórica de falhas de 70,37%.

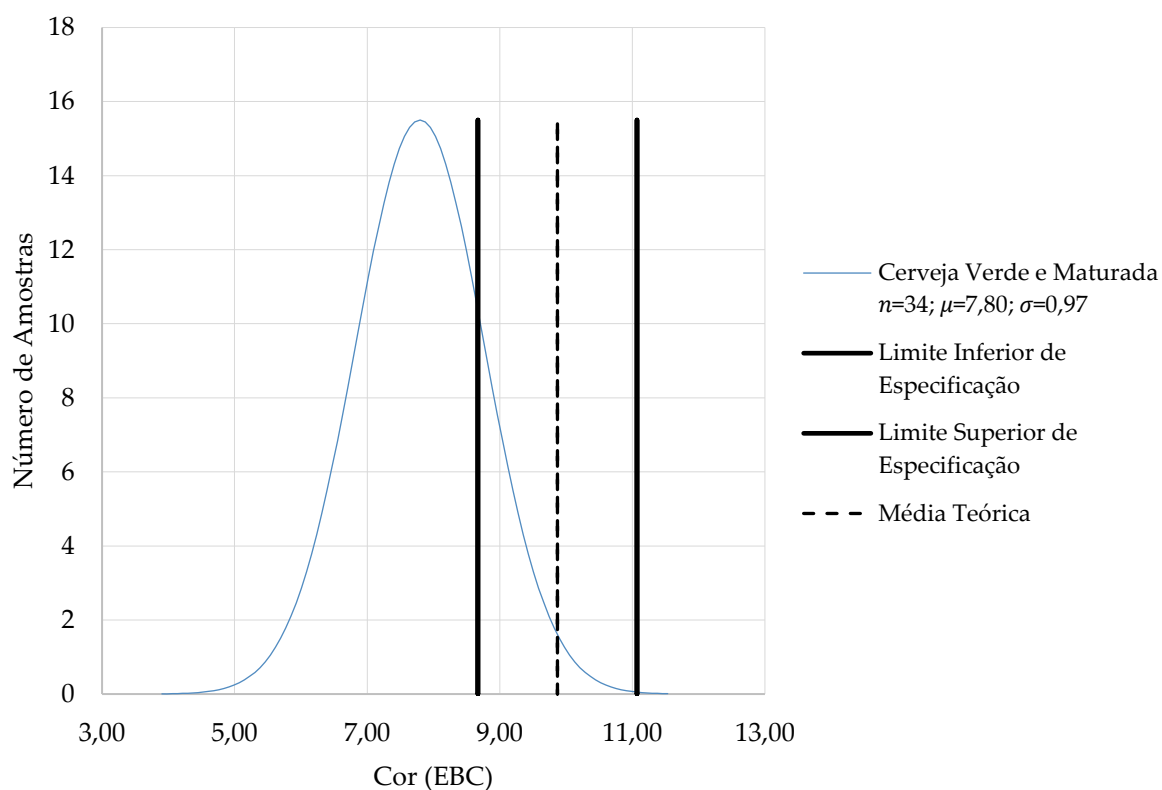


Figura 7.12 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja verde e maturada de Heineken®, o correspondente à fase de Guarda, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

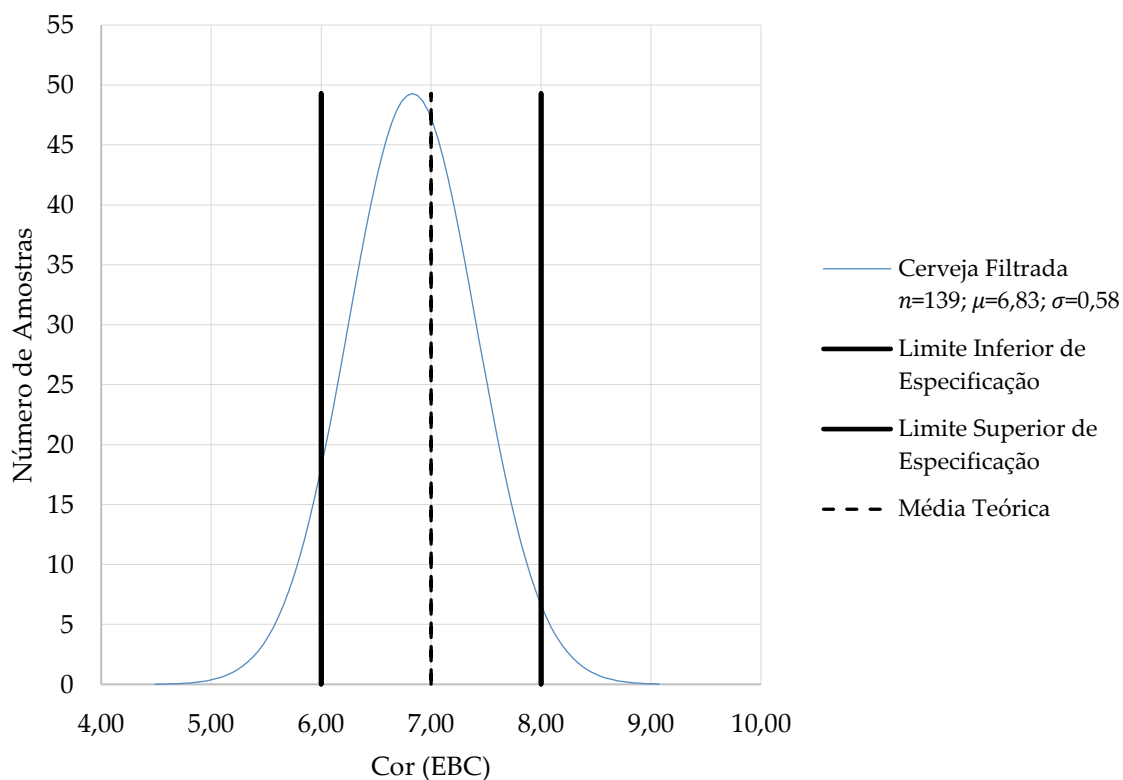


Figura 7.13 Distribuição normal dos valores de cor de cerveja filtrada de Heineken®, o correspondente à fase de Filtração, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

Por fim, a cor das amostras de cerveja filtrada, que ronda, em média, $6,83 \pm 0,58$ EBC, mostra-se concordante com o valor de cor médio pretendido de 7,00 EBC, não ocorrendo a necessidade de revisão deste intervalo de especificação.

Todas as modificações dos intervalos de especificação das diversas amostras de cor das marcas Sagres® e Heineken® preveem, no final, um aumento da capacidade do processo. Esta lógica foi comprovada pelo cálculo dos índices Cp e Cpk para cada tipo de amostra analisada, cujos valores e respetiva variação, do antes e depois do ajuste, se encontram registados na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 Índices de capacidade do processo, Cp e Cpk, para a cor das amostras de mosto arrefecido, cerveja verde e maturada, e cerveja filtrada das marcas Sagres® e Heineken®.

ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO AMOSTRAS	Cp		Cpk	
	Antes	Depois	Antes	Depois
MOSTO ARREFECIDO (Sagres®)	0,35		0,26	
MOSTO ARREFECIDO (Heineken®)	0,30	0,30	0,00	0,30
CERVEJA VERDE (Sagres®)	0,41	0,64	0,23	0,58
CERVEJA VERDE / MATURADA (Heineken®)	0,41	0,41	-0,30	0,41
CERVEJA FILTRADA (Sagres®)	0,74		0,67	
CERVEJA FILTRADA (Heineken®)	0,57		0,47	

Uma breve análise mostra que nas amostras de mosto arrefecido e cerveja verde e maturada de Heineken®, o Cp permaneceu inalterado pois a amplitude do intervalo de especificação permaneceu constante, contrariamente ao que sucedeu para a amostra de cerveja verde de Sagres® cuja amplitude do intervalo de especificação de cor foi aumentada e se traduziu numa melhoria deste indicador. Já em relação ao Cpk, todas as alterações efetuadas resultaram num crescimento deste índice dado que estas foram pensadas a fim de, precisamente, centralizar os intervalos de especificação com o processo. Em particular, no caso da cerveja verde e maturada de Heineken® nota-se que o Cpk subiu de um valor inicialmente negativo, significando que a média real dos valores de cor não estava contida no respetivo intervalo de especificação fixado, para um valor igual ao Cp. De facto, para todas as amostras

cujos intervalos de especificação de cor foram ajustados, ocorreu esta aproximação do índice Cpk ao Cp, o que significa que o processo está mais centrado para este parâmetro de qualidade. Todavia, não passa despercebido que todos estes valores de Cp e Cpk estão muito aquém da meta de 1,33 que exprime um processo com potencial e capaz, respetivamente. Este fraco desempenho pode ser explicado pela oscilação considerável dos valores de cor ao longo de todo o processo produtivo, traduzida pelos desvios padrão algo expressivos associados aos valores médios de cada amostra, e que são de difícil controlo total visto estarem dependentes de muitas condições processuais. Ademais, uma má homogeneização total dos produtos pode contribuir para uma falta de representatividade das amostras recolhidas em relação ao seu todo, o que também poderá favorecer uma maior variabilidade dos valores de cor.

Ainda assim, com esta avaliação da capacidade do processo para o parâmetro de qualidade da cor, ficou devidamente comprovada a mais-valia de todas estas alterações aos limites de especificação de cor, cujo resumo está sistematizado na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 Novos limites de especificação para cor, em EBC, de mosto arrefecido de Heineken®, cerveja verde de Sagres® e cerveja verde e maturada de Heineken®, bem como o respetivo impacto na redução de falhas deste parâmetro de qualidade.

INTERVALO DE ESPECIFICAÇÃO (EBC) AMOSTRA	LIE	VALOR MÉDIO	LSE	AMPLI- TUDE	REDU- ÇÃO DE FALHAS (%)
MOSTO ARREFECIDO (Heineken®)	7,99	8,99	9,99	± 1,00	-8,77%
CERVEJA VERDE (Sagres®)	11,02	12,59	14,16	± 1,57	75,77%
CERVEJA VERDE / MATURADA (Heineken®)	6,60	7,80	9,00	± 1,20	70,37%

LIE: Limite Inferior de Especificação; LSE: Limite Superior de Especificação

7.3.2 Brassagem

A etapa do fabrico de mosto revelou a necessidade de algumas melhorias para a otimização do parâmetro de qualidade da cor, tendo sido aprovada a concretização de duas ações relacionadas ao procedimento de correção de cor do mosto que aqui decorre para a marca Sagres®. Em primeiro, foi atualizada a LUP de recolha e preparação das amostras de mosto quente para determinação de cor, e, em segundo, foi testada a possibilidade de

antecipação, no processo produtivo, da recolha desta amostra. Em adição, dada a problemática em relação à cor dos maltes *Pilsen* e carafa, procedeu-se à análise dos seus dados para perceber se, no geral, estavam em conformidade com os limites de especificação fixados. Para o malte carafa, foi ainda estudada a possibilidade de simplificação do seu método de determinação de cor para que seja possível obter estes resultados antes do início das produções semanais seguintes, atuando como um valor padrão que contribui para a homogeneidade entre fabricos.

7.3.2.1 Procedimento de Correção de Cor do Mosto com Malte Carafa

O malte carafa, como já mencionado, é utilizado principalmente para ajustes de cor do mosto da cerveja, embora também seja responsável por alguns *flavours* de caramelo, café, nozes e, quando em grandes quantidades, até a queimado (Kreisz, 2009; Shellhammer & Bamforth, 2008). Na SCC, a quantidade deste tipo de malte utilizada nas receitas de cada cerveja está bem definida, apesar de tender a ser continuamente ajustada dados os problemas de homogeneidade da cor do malte carafa intra e inter lotes. Estas oscilações de cor são, até à data, apenas detetadas por análise da cor do mosto quente de Sagres®, que deve estar delimitada entre 12,50 EBC e 14,50 EBC, com uma média teórica de 13,50 EBC. Sempre que o valor de cor desta amostra não esteja compreendido neste intervalo de especificação, então devem ser aplicadas medidas corretivas com o ajuste da quantidade de malte carafa em compensação da sua variação de cor. Em pormenor, um aumento da cor do malte carafa deve ser compensado com uma diminuição da quantidade incorporada e, contrariamente, uma diminuição da cor do malte carafa balanceada com um aumento da quantidade adicionada.

Para assegurar um controlo destas oscilações de cor do malte carafa inerentes ao processo de torrefação, abordadas na secção seguinte 7.3.2.1.2 Homogeneização da Cor do Malte *Pilsen* e Malte Carafa, a amostra de mosto quente deve ser retirada sempre que ocorra a mudança de lotes deste malte, pois a variação de cor entre lotes tende a ser significativa e levar à necessidade de ajustes na sua quantidade. Já para um controlo contínuo da cor e averiguar possíveis variações dentro do mesmo lote, deve ser retirada uma amostra de mosto quente em um fabrico aleatório por dia, tal como descrito no plano de amostragem da SCC.

De forma a padronizar o procedimento de recolha e preparação das amostras de mosto quente e as eventuais medidas corretivas para ajuste da quantidade de malte carafa quando a cor não cumpre o intervalo de especificação definido, foi urgente atualizar as LUPs que já existiam nesta matéria. A nova LUP, representada na Figura 7.14, contém todos os passos referentes à realização destas tarefas, descritos de forma sucinta e ilustrados com imagens que auxiliam na sua correta execução.

		Lição Um Ponto				
Área: Brassagem		Tema: Medição da Cor do Mosto de Sagres Branca após Ebulição e Procedimento de Correção de Cor do Mosto			Nº 1625	
Pilar: Qualidade		Elaboração: Inês Matias	Aprovação: João Paulo Mendes	Data: 19/06/2023	Versão: V1	

Atenção: Respeitar todas as regras e procedimentos de segurança.

Recorde: Iniciar LUP com requisitos de segurança específicos para as atividades descritas.



Perigo de queimaduras por contacto de líquidos quentes com a pele



Perigo de toxicidade por inalação de póis

Frequência: A medição da cor do mosto de Sagres Branca deve ser uma rotina a ser cumprida, pelo menos, **uma vez por dia e sempre que ocorra a mudança de lotes de malte carafa.**

Equipamentos e Materiais:

- Comparador Lovibond® Daylight 2000 Unit
- Canudo de cobre para recolha de amostras quentes
- Balão de vidro 100 mL
- Funil
- Filtro de papel pregueado
- Auxiliar de filtração: *kieselguhr*
- Cuvete de vidro ótico de 25 mm para o comparador Lovibond®
- Cuvete de 50 mL para Alcolyzer Beer Analyzing System®

• Preparação da Amostra e Medição da Cor do Mosto:

- Retirar uma amostra de mosto no final da fervura para o canudo de cobre;
- Arrefecer o mosto num banho frio até cerca de 20 °C (aproximadamente 10 minutos de espera);

ReP 020 - 04/2017 V, TPM

1/8

Figura 7.14 LUP sobre a medição da cor de mosto quente de Sagres®, após ebulição, e respetivo procedimento de correção de cor.



3. Preparar um balão de vidro com um funil e filtro de papel pragueado, adicionado-se aproximadamente 5 g de *kieselguhr* (equivalente a meia colher);

4. Filtrar cerca de 100 mL de mosto arrefecido;



5. Determinar a cor da amostra filtrada pelo comparador Lovibond® e validar o resultado com o laboratório:

5.1. Lovibond®:

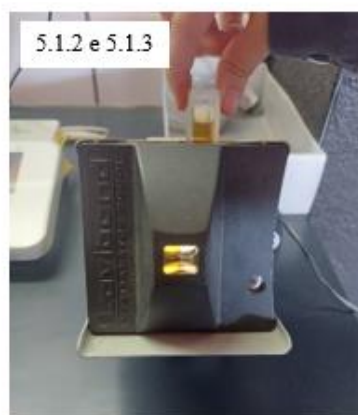
5.1.1. Colocar o mosto filtrado na cuvete de 25 mm até praticamente ao cimo;

5.1.2. Inserir a cuvete no interior do equipamento;

Figura 7.14 LUP sobre a medição da cor de mosto quente de Sagres®, após ebulição, e respetivo procedimento de correção de cor (Continuação).

Área: Brassagem	Tema: Medição da Cor do Mosto de Sagres Branca após Ebulição e Procedimento de Correção de Cor do Mosto			Nº 1625
Pilar: Qualidade	Elaboração: Inês Matias	Aprovação: João Paulo Mendes	Data: 19/06/2023	Versão: V1

5.1.3. Determinar a cor por comparação com os discos na gama de 10 a 18 EBC.



5.2. Laboratório:

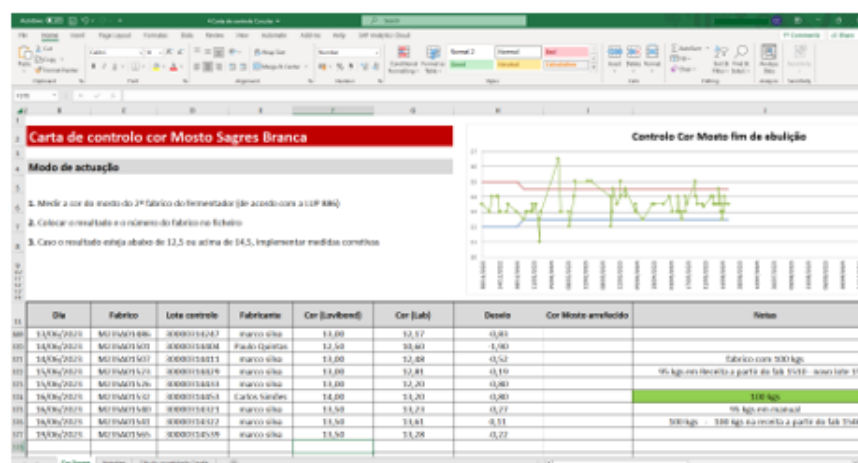
5.2.1. Colocar o mosto filtrado na cuvete de 50 mL até praticamente ao cimo;

5.2.2. Levar a amostra ao laboratório para determinação da cor.



Figura 7.14 LUP sobre a medição da cor de mosto quente de Sagres®, após ebulição, e respetivo procedimento de correção de cor (Continuação).

Nota: Ambos os resultados de cor devem ser colocados no Excel “Carta de Controlo Cor”.



6. Caso a cor do mosto esteja fora do intervalo de especificação de 12,5 a 14,5 EBC, seguir o "Procedimento de Correção de Cor do Mosto" abaixo descrito.

• Procedimento de Correção de Cor do Mosto:

A cor do mosto de Sagres Branca após ebulição deve estar compreendida no intervalo de especificação de 12,5 a 14,5 EBC. Em caso contrário:

1. Retirar nova amostra do fabrico seguinte da mesma sala, seguindo o mesmo procedimento acima descrito em "Preparação da Amostra e Medição da Cor do Mosto":
 - 1.1. Caso a segunda determinação de cor dê um valor compreendido no intervalo de especificação suposto, então não será necessário fazer ajustes na receita;
 - 1.2. Caso a segunda determinação de cor dê novamente um valor fora de especificação, então ajustar a receita do seguinte modo:
 - 1.2.1. Para cores inferiores a 12,5 EBC, aumentar a quantidade de malte carafa em 5 kg no próximo fabrico possível;
 - 1.2.2. Para cores superiores a 14,5 EBC, diminuir a quantidade de malte carafa em 5 kg no próximo fabrico possível.

Figura 7.14 LUP sobre a medição da cor de mosto quente de Sagres®, após ebulição, e respetivo procedimento de correção de cor (Continuação).

		Lição Um Ponto			
Área: Brassagem		Tema: Medição da Cor do Mosto de Sagres Branca após Ebulição e Procedimento de Correção de Cor do Mosto			Nº 1625
Pilar: Qualidade		Elaboração: Inês Matias	Aprovação: João Paulo Mendes	Data: 19/06/2023	Versão: V1

Nota: Estes ajustes na receita devem ser registados no mesmo Excel "Carta de Controlo Cor" e devem ser validados com a retirada de uma amostra de mosto após ebulição do primeiro fabrico afetado, segundo o mesmo procedimento descrito anteriormente em "Preparação da Amostra e Medição da Cor do Mosto".

- 1.2.2.1. Caso a confirmação de cor dê um valor compreendido no intervalo de especificação suposto, então manter o ajuste realizado na quantidade de malte carafa;
- 1.2.2.2. Caso a confirmação de cor dê novamente um valor fora de especificação, então voltar a aumentar / diminuir, conforme o caso, 5 kg de malte carafa de forma sequencial até que os valores de cor incluam no intervalo de especificação.

Ref 020 - 04/2017 V, TPM
5/6

Figura 7.14 LUP sobre a medição da cor de mosto quente de Sagres®, após ebulição, e respetivo procedimento de correção de cor (Continuação).

De um modo simplista, a amostra de mosto quente de Sagres® deve ser retirada no final da etapa de fervura, para um canudo de cobre, e devidamente arrefecida a 20 °C num banho refrigerado. De seguida, esta é filtrada por um filtro de papel pregueado, com o auxílio de *kieselguhr*, para um balão, estando pronta a ser analisada. Esta determinação da cor deve ocorrer *in loco* pelo comparador *Lovibond*®, e o resultado deve ser validado pelo laboratório com uma análise espectrofotométrica. Ambos os valores de cor obtidos devem ser colocados num *Excel*, preparado para o efeito, que atualiza a carta de controlo referente à cor do mosto quente dos fabricos de Sagres®. Caso estes resultados se apresentem fora do intervalo de especificação delineado, então devem ser aplicadas medidas corretivas que passam pela retirada de uma nova amostra de mosto quente do fabrico seguinte e respetiva determinação da cor. Se esta permanecer fora de especificação, a quantidade de malte carafa deve ser ajustada em mais ou menos 5 quilogramas (kg), consoante a cor esteja, respetivamente, abaixo do LIE ou acima do LSE. Estas alterações na receita devem ser validadas com a retirada de outra amostra de mosto após ebulição do primeiro fabrico afetado com a mudança da quantidade de malte carafa, seguindo-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. De modo oposto, se a segunda determinação de cor revelar um valor compreendido no intervalo de especificação suposto, então não será necessário fazer ajustes na receita, embora se deva manter a situação sob um controlo mais apertado.

7.3.2.1.1 Ajuste da Quantidade de Malte Carafa no Fabrico de Mosto

A aplicação do procedimento de correção de cor do mosto de Sagres® tem-se revelado eficiente. Contudo, como a amostra de mosto quente só é recolhida no final da etapa de fervura, este ajuste só consegue ser feito tardiamente dado que podem já ter sido iniciados outros três fabricos. De facto, a laboração contínua seguida na SCC permite a ocorrência, em simultâneo, de quatro fabricos em cada sala de brassagem, com um na etapa inicial de moagem dos cereais maltados e não maltados, outro a ocupar a caldeira das caldas e de empastagem, outro a ser filtrado e a ocupar a caldeira de fervura, e o último a ser clarificado no *whirlpool*. Assim, só no próximo fabrico da mesma sala, cujas matérias-primas ainda não foram pesadas, é que se conseguirá programar manualmente uma nova quantidade de malte carafa.

O facto de esta ação corretiva não ter um efeito imediato no próximo fabrico assim que se note o desajuste da cor do mosto quente, provoca um desnecessário aumento de falhas de cor nesta secção. Como tal, tentou-se antecipar este ponto de amostragem de forma a se

acelerar também eventuais procedimentos de correção de cor do mosto por ajuste da quantidade de malte carafa.

Antes da caldeira de fervura, os únicos pontos de amostragem estão localizados nos filtros de mosto e nas caldeiras das caldas e empastagem. Destas, a amostra das caldas foi descartada pois a incorporação de malte carafa só ocorre na etapa seguinte de empastagem. Contudo, nesta última, a recolha de empaste implica a abertura da porta da caldeira e a utilização de um tira-amostras com cabo, o que torna o procedimento mais complexo. Ademais, a amostra de empaste é bastante mais difícil de ser processada pois contém muitos sólidos suspensos, o que atrasa o procedimento de determinação da cor. Assim, para este propósito, apenas sobra a amostra de mosto denso, retirada no filtro aquando da filtração do empaste. A comparação do aspeto visual desta duas últimas amostras está representada na Figura 7.15.

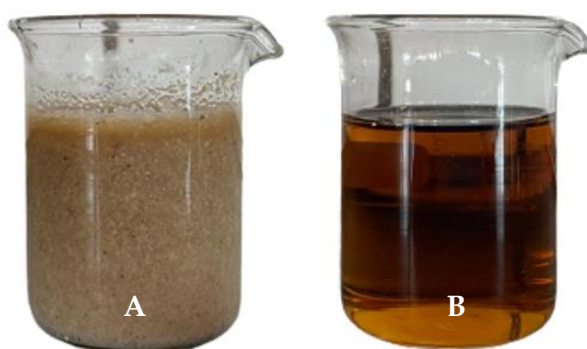


Figura 7.15 Aparência de uma amostra de empaste (A) e de mosto denso (B).

Selecionado o novo ponto de amostragem, foram recolhidos conjuntos de amostras de mosto denso, mosto quente e mosto arrefecido de nove fabricos distintos, nomeados de A a I. Em maior pormenor, para cada fabrico, as amostras de mosto denso foram retiradas aos 5 e 15 minutos da etapa de filtração; a de mosto quente aquando do início da etapa de vazamento da caldeira de fervura para o *whirlpool*; e a de mosto arrefecido foi coletada após o permutador aos 7 minutos da etapa de vazamento do *whirlpool*. De facto, como a amostra de mosto denso é a única que não está incluída no plano de amostragem atual da SCC, optou-se por recolher em duplicado de modo a cobrir eventuais variações nos valores de cor. Estes procedimentos de recolha, bem como os de preparação da amostra para a determinação da cor, seguiram o detalhado em 6.2.1 Métodos para Determinação da Cor de Malte, Mosto e Cerveja, sendo que

a metodologia para as amostras de mosto denso foi a mesma aplicada às amostras de mosto quente por se tratar igualmente de um líquido fluido a altas temperaturas.

De notar que, para cada amostra, além dos valores de cor, foram também registados os valores de extrato para garantir que eventuais falhas no parâmetro de qualidade em estudo não advêm de uma anormal concentração de açúcares fermentescíveis no mosto. Estes dados estão representados, respetivamente, na Figura 7.16 e Figura 7.17, sendo que para as amostras de mosto denso considerou-se um único valor da média dos valores registados em duplicado.

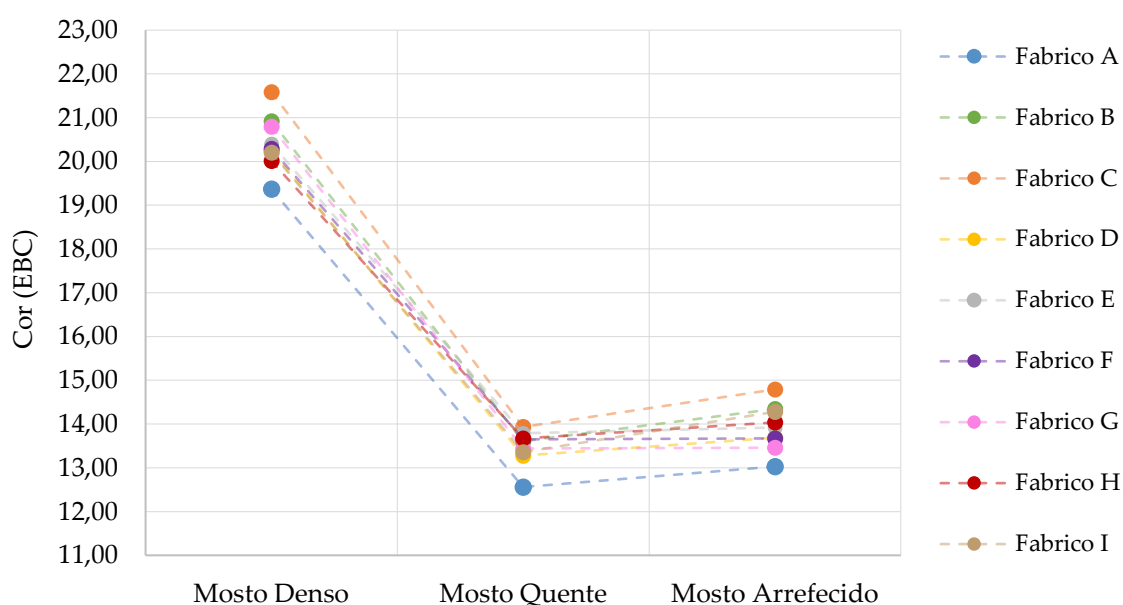


Figura 7.16 Dados de cor, em EBC, das amostras de mosto denso, mosto quente e mosto arrefecido dos fabricos analisados, nomeados de A a I.

Por análise dos dados de cor da Figura 7.16, é imediatamente notória uma perda de cor acentuada entre as amostras de mosto denso e de mosto quente, que, em média, é de $6,95 \pm 0,42$ EBC. Isto acontece, pois, no filtro, após a etapa de filtração propriamente dita, ocorre uma etapa de lavagem do mosto com vista a aumentar a sua eficiência de extração. Este volume de água quente incorporado é bastante significativo e contribuí para a diluição do mosto denso e consequente atenuação da sua cor. Contrariamente, das amostras de mosto quente para mosto arrefecido, ocorre um ganho de cor médio de $0,44 \pm 0,34$ EBC. Este valor já estava previsto na conversão dos intervalos de especificação da cor de mosto quente para mosto arrefecido, que considera um aumento teórico de cor de 0,50 EBC. Este incremento, como já referido, resulta da contínua ocorrência de reações de escurecimento que são aceleradas pelas altas temperaturas a que ainda se encontra o mosto até ao seu arrefecimento.

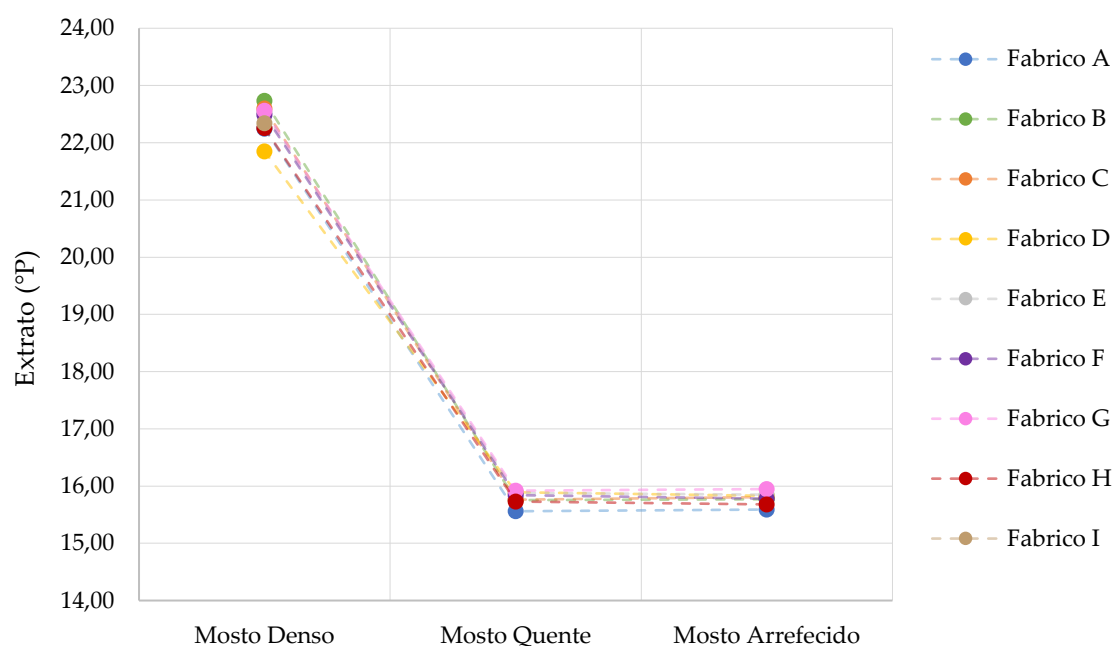


Figura 7.17 Dados de extrato, em °P, das amostras de mosto denso, mosto quente e mosto arrefecido dos fabricos analisados.

Já em relação ao extrato, por análise dos dados da Figura 7.17, nota-se que este parâmetro de qualidade parece mais controlado que a cor ao apresentar uma menor variação entre fabricos. Em adição, constatou-se que todos os valores de extrato registados se encontram dentro das respetivas especificações, pelo que as oscilações observadas nos valores de cor não advêm de variações de extrato.

Voltando ao objetivo principal de extrapolar um intervalo de especificação de cor para a amostra de mosto denso, é primeiramente necessário provar que existe uma relação entre este parâmetro de qualidade e os vários tipos de mostos aqui descritos. Estas associações são mostradas na Figura 7.18 e Figura 7.19, e ambas parecem revelar uma tendência linear apesar do coeficiente de determinação, vulgo R^2 , não ser tão elevado como o suposto. Este valor, que varia entre 0 e 1 ou 0% e 100%, diz-nos qual a proporção da variação total dos dados que é explicada pelo modelo em causa, pelo que, em geral, quanto maior o R^2 melhor o ajuste dos dados e esse mesmo modelo.

Quando comparados os valores de cor das amostras de mosto arrefecido e mosto quente, na Figura 7.18, o modelo linear explica 56,91% da variância dos dados; enquanto na comparação das amostras de mosto quente e mosto denso, na Figura 7.19, este modelo explica 56,19% da variabilidade dos valores.

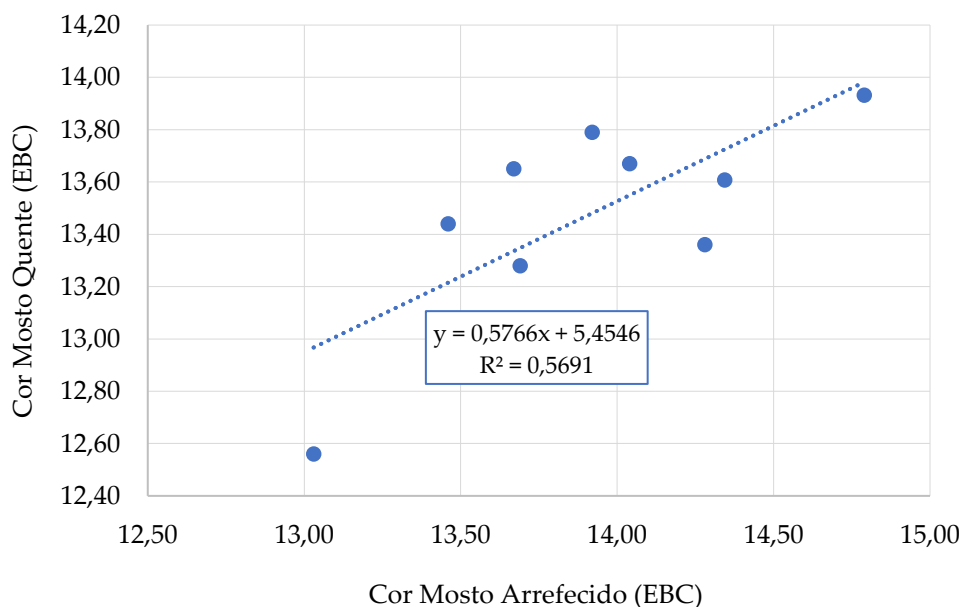


Figura 7.18 Relação entre a cor, em EBC, das amostras de mosto arrefecido e as amostras de mosto quente dos fabricos analisados.

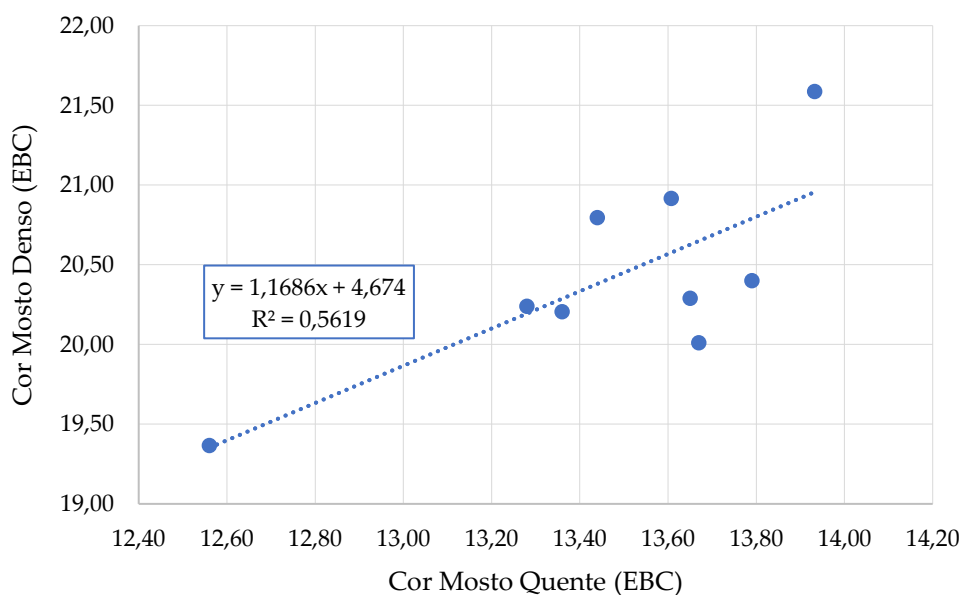


Figura 7.19 Relação entre a cor, em EBC, das amostras de mosto quente e as amostras de mosto denso dos fabricos analisados.

Este coeficiente, à partida, pode não parecer muito expressivo para se concluir que a relação entre a cor destas amostras de mosto é efetivamente linear. No entanto, o baixo R^2 observado pode ser explicado pela grande oscilação dos valores de cor dentro do mesmo tipo de amostra, ainda que esta variação esteja prevista na amplitude dos respetivos intervalos de

especificação de cor e não seja considerada um impedimento para o controlo do processo. Além da dinâmica inerente ao próprio processo produtivo, uma fraca representatividade das amostras recolhidas em relação ao seu todo, derivada de uma má homogeneização dos mostos, também poderá contribuir para uma maior variabilidade dos valores de cor. Como tal, estas relações foram consideradas lineares, com ênfase na relação dos valores de cor entre as amostras de mosto denso e mosto quente, representada pela Equação 7.1, que servirá de base para a extrapolação do intervalo de especificação de cor de mosto quente para as amostras de mosto denso.

$$\text{Cor de Mosto Denso (EBC)} = 1,1686 \cdot \text{Cor de Mosto Quente (EBC)} + 4,674$$

Equação 7.1 Regressão linear da cor de mosto denso, em EBC, em função da cor de mosto quente, em EBC.

Com base nesta relação matemática, os limites de especificação e respetivo valor médio para a cor das amostras de mosto denso foram estimados por consideração, na equação acima, destes mesmos termos referentes às amostras de mosto quente. Isto é, os LIE e LSE da cor de mosto denso foram calculados por substituição da variável da cor de mosto quente, na equação, pelos respetivos LIE e LSE atuais; e o mesmo sucedeu para a estimativa do valor médio. Esta primeira estratégia, designada de hipótese A, implicaria o aumento da amplitude do intervalo de especificação da cor de mosto denso para $\pm 1,17$ EBC, relativamente à amplitude de $\pm 1,00$ EBC considerada para as amostras de mosto quente. Este cenário não é aconselhável pois poderá traduzir-se num aumento de variabilidade do processo e, consequentemente, de possíveis falhas não controladas. Assim, com base no valor médio de cor de mosto denso calculado anteriormente, foi estabelecida uma segunda hipótese de intervalo de especificação que mantivesse a amplitude inicial, intitulada de hipótese B, subtraindo-se e somando-se 1,00 EBC para a obtenção, respetivamente, do LIE e LSE.

Outra proposta de intervalo de especificação para a cor de mosto denso, nomeada de hipótese C, foi calculada com base no valor médio obtido da perda de cor entre estas amostras e as de mosto quente, quantificada em 6,95 EBC. Assim, ao valor médio de cor do intervalo de especificação para mosto quente somou-se 6,95 EBC, e o mesmo foi feito para a determinação dos LIE e LSE. O resumo destas três hipóteses está apresentado abaixo na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 Hipóteses de extrapolação do intervalo de especificação de cor de mosto quente para a estimativa de um intervalo de especificação de cor de mosto denso, ambos em EBC.

		MOSTO QUENTE	MOSTO DENSO
HIPÓTESE A (EBC)	LIE	12,50	19,28
	Valor Médio	13,50	20,45
	LSE	14,50	21,62
	Amplitude	± 1,00	2,34
HIPÓTESE B (EBC)	LIE	12,50	19,45
	Valor Médio	13,50	20,45
	LSE	14,50	21,45
	Amplitude	± 1,00	2,00
HIPÓTESE C (EBC)	LIE	12,50	19,45
	Valor Médio	13,50	20,45
	LSE	14,50	21,45
	Amplitude	± 1,00	2,00

LIE: Limite Inferior de Especificação; LSE: Limite Superior de Especificação

Com a hipótese A rejeitada por exigir um alargamento da amplitude do intervalo de especificação, a hipótese B e C resultaram no mesmo intervalo de especificação para a cor de mosto denso, com um valor médio de 20,45 EBC delimitado inferiormente por um valor de 19,45 EBC e superiormente por 21,45 EBC.

No entanto, dada a associação notória no decorrer desta tarefa entre os valores de extrato e de cor para uma mesma amostra, este novo intervalo de especificação só é válido caso os valores deste primeiro parâmetro se encontrem dentro da normalidade.

Deste modo, para se definir quais os limites da normalidade dos valores de extrato para o intervalo de cor já estabelecido para as amostras de mosto denso, foi necessário estudar a relação entre estes dois parâmetros de qualidade ao longo do fabrico do mosto, retratada na Figura 7.20.

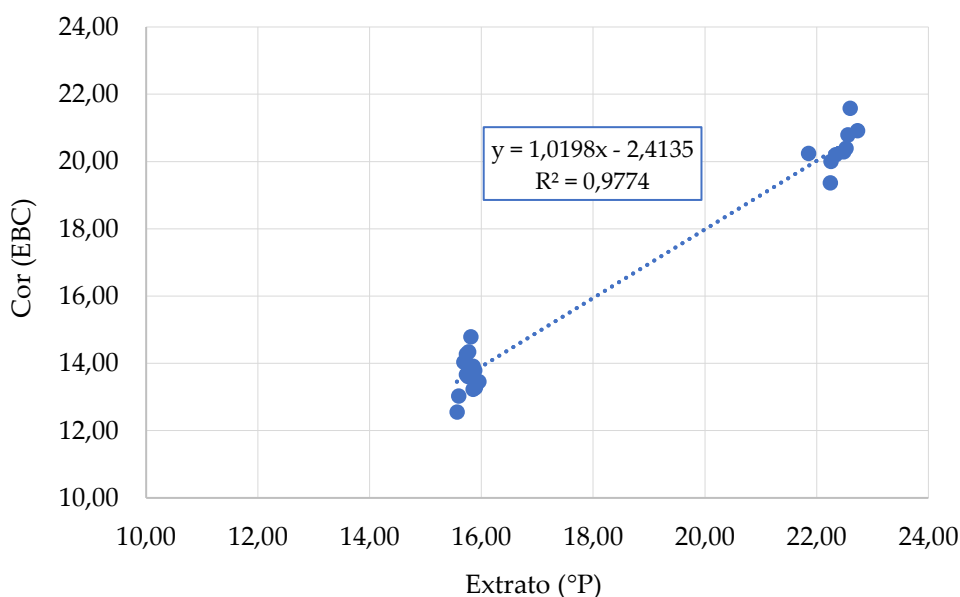


Figura 7.20 Relação entre a cor, em EBC, e o extrato, em °P, de todas as amostras de mosto denso, quente e arrefecido dos fabricos analisados.

Aqui, quando comparados os valores de cor e de extrato das amostras de mosto denso, mosto quente e mosto arrefecido, estes parecem seguir uma relação linear, com este modelo a explicar 97,74% da variabilidade dos dados. Como tal, a relação entre estes dois parâmetros de qualidade pode ser expressa pela Equação 7.2.

$$Cor (EBC) = 1,0198 \cdot Extrato(^{\circ}P) - 2,4135$$

Equação 7.2 Regressão linear da cor de mosto denso, quente ou arrefecido, em EBC, em função do extrato de mosto denso, quente ou arrefecido, em °P.

Assim sendo, para que o intervalo de especificação de cor definido para as amostras de mosto denso seja válido, os valores de extrato das mesmas amostras devem estar compreendidos entre 21,44 °P e 23,40 °P. Estes valores foram obtidos, respetivamente, por

substituição da variável da cor, na equação acima, pelos LIE e LSE do intervalo que a caracteriza.

Com a adoção deste novo intervalo de especificação para a cor das amostras de mosto denso de Sagres®, dos nove conjuntos de amostras inicialmente analisados foram detetadas duas incorreções, isto é, a cor de mosto denso revelou-se fora de especificação e nas restantes amostras de mosto quente e mosto arrefecido estava conforme. Em maior pormenor, no fabrico A, o mosto denso apresentou uma cor de 19,37 EBC, o mosto quente de 12,56 EBC e o mosto arrefecido de 13,03 EBC. Aqui, nota-se que, apesar de conformes, os valores de cor das duas últimas amostras estão muito próximos dos respetivos LIE, como propõe o valor de cor da amostra de mosto denso que está ligeiramente abaixo do seu LIE. De modo contrário, o fabrico C, mostrou uma cor de 21,59 EBC em mosto denso, 13,93 EBC em mosto quente e 14,79 EBC em mosto arrefecido, revelando uma cor alta acima do LSE em mosto denso e uma cor conforme nas restantes amostras, embora também desviadas e muito próximas do respetivo LSE. Isto poderá ser explicado, mais uma vez, pela variabilidade intrínseca ao processo produtivo e a cada amostra, esta última derivada da impossibilidade de uma homogeneização ideal do mosto.

Ademais, vale realçar que estas amostras de mosto denso destes dois fabricos em causa não seriam julgadas com falhas de cor caso o intervalo de especificação adotado fosse o calculado na hipótese A, cuja amplitude foi posteriormente estreitada. Ainda assim, estes episódios não parecem ser preocupantes pois a relação dos valores de cor obtidos em mosto denso com os valores de cor das restantes amostras permanece a esperada, inclusive incitam a um controlo mais apertado sobre este parâmetro de qualidade pois mantêm o estado de alerta em relação à cor dos próximos fabricos. O mesmo não aconteceria caso o cenário fosse o inverso, isto é, com o surgimento de amostras de mosto quente ou mosto arrefecido com cor fora de especificação que não havia sido detetada previamente na amostra de mosto denso.

Posto tudo isto, concluiu-se ser possível adiantar a recolha da amostra de mosto quente da fervura para uma amostra de mosto denso durante a filtração, o que permitira a antecipação de eventuais procedimentos de correção de cor do mosto em somente um fabrico. Este adiantamento pode parecer insignificante, mas, por questões já mencionadas, não é possível antecipar ainda mais a recolha da amostra para controlo de cor sem que tal leve a uma sobrecarga de trabalho dos operadores. Ainda assim, a antecipação em apenas um fabrico poderá resultar numa diminuição teórica do número de falhas de cor de Sagres® na área de brassagem em 19,19%. Este valor foi calculado com base no histórico dos resultados de cor,

mencionado na secção 7.1 Análise ao Histórico de Resultados de Cor, filtrado apenas para as amostras de mosto de Sagres®, que na prática correspondem a amostras de mosto arrefecido. Neste grupo de amostras selecionadas, descontou-se uma falha por cada conjunto de falhas consecutivas, simulando que a cor anormal do mosto teria sido detetada um fabrico antes e a sua correção de cor por ajuste da quantidade de malte carafa também.

Por fim, para a real validação da relevância desta antecipação da recolha das amostras de mosto quente para amostras de mosto denso, é recomendável que, num período inicial, esta nova amostra seja recolhida em simultâneo com a amostra já existente no plano de amostragem da SCC de forma a assegurar que as conclusões são coincidentes. Em caso afirmativo, a Empresa poderá vir a adotar esta nova estratégia como uma mais-valia para a redução de falhas de cor na Brassagem.

7.3.2.1.2 Homogeneização da Cor do Malte *Pilsen* e Malte Carafa

O malte, como sendo a principal matéria-prima da cerveja, é determinante na caracterização de inúmeros parâmetros de qualidade desta bebida, incluindo a cor. A sua receita, comumente, contém diversos tipos de malte, incluindo maltes com diferentes colorações. Destes, os maltes de cor mais escura, normalmente sujeitos a um processo de torrefação, têm um maior impacto na cor da mistura, e pequenas variações na sua cor e na sua quantidade têm um maior impacto face às variações de maltes de cor mais clara.

Na SCC, o malte mais abundantemente utilizado é o *Pilsen*, que internamente deve apresentar uma cor média de 3,50 EBC e estar compreendido entre 3,00 e 4,00 EBC. Já a cor do malte carafa deve estar apontada para uma média de 900,00 EBC e estar contida no intervalo limitado inferiormente por 800,00 EBC e superiormente por 1000,00 EBC.

De forma a perceber se estas matérias-primas estão a ser produzidas conforme estas especificações fixadas, foram recolhidos todos os dados de cor de malte *Pilsen* e malte carafa no período de 2021 até junho de 2023, incluindo tanto as amostras representativas dos fabricos, retiradas na malteria, como as amostras representativas das misturas, retiradas na malteria ou pelos operadores da secção de Brassagem aquando da transferência do malte dos silos da malteria para os silos do fabrico de mosto. Todos estes resultados, tal como expectável, apresentam uma distribuição normal que pode ser observada, para o malte *Pilsen*, na Figura 7.21 e Figura 7.22, e, para o malte carafa, na Figura 7.23.

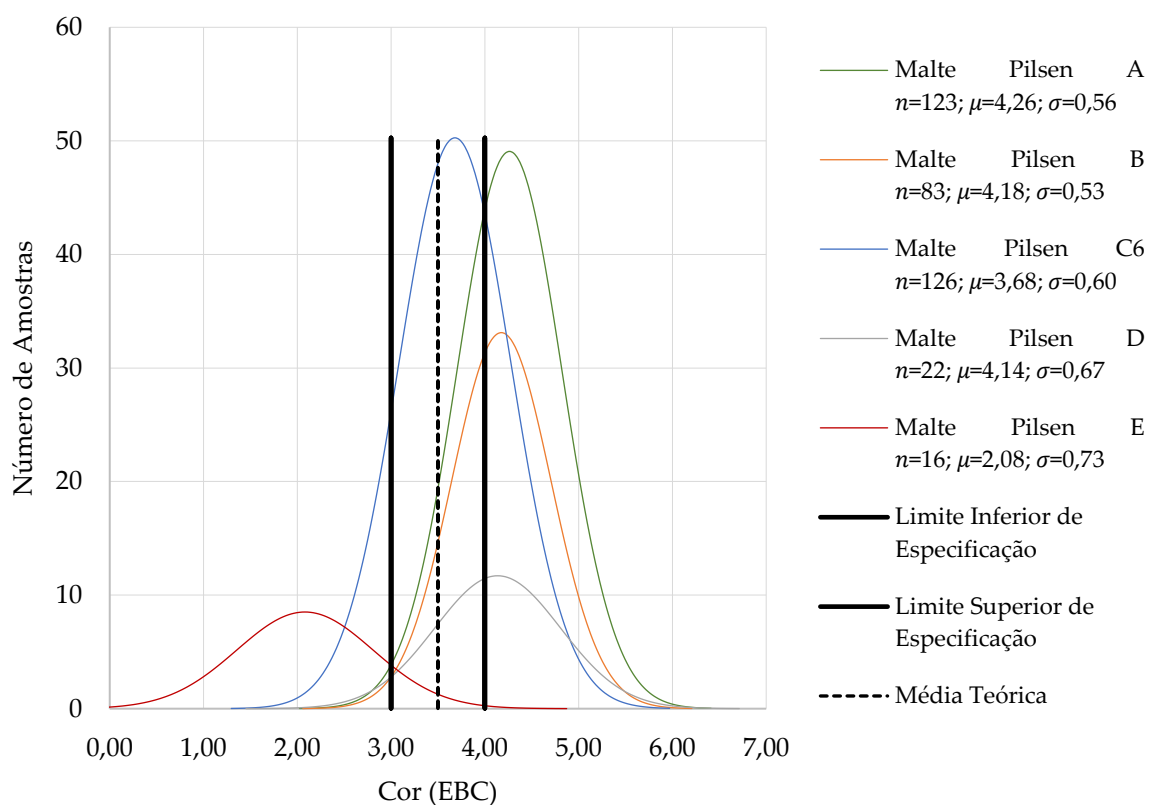


Figura 7.21 Distribuição normal dos valores de cor do malte *Pilsen*, classificados nas diversas variedades de A a E, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

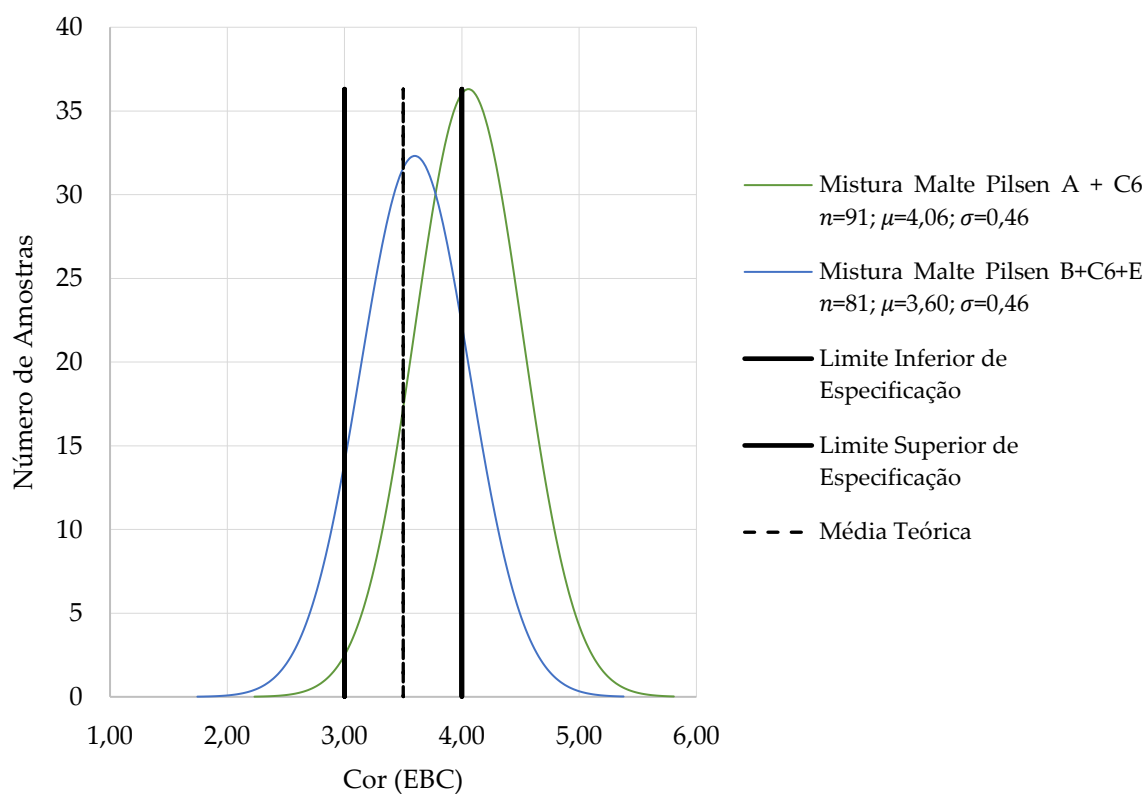


Figura 7.22 Distribuição normal dos valores de cor das misturas de malte *Pilsen* mais abundantemente utilizadas, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

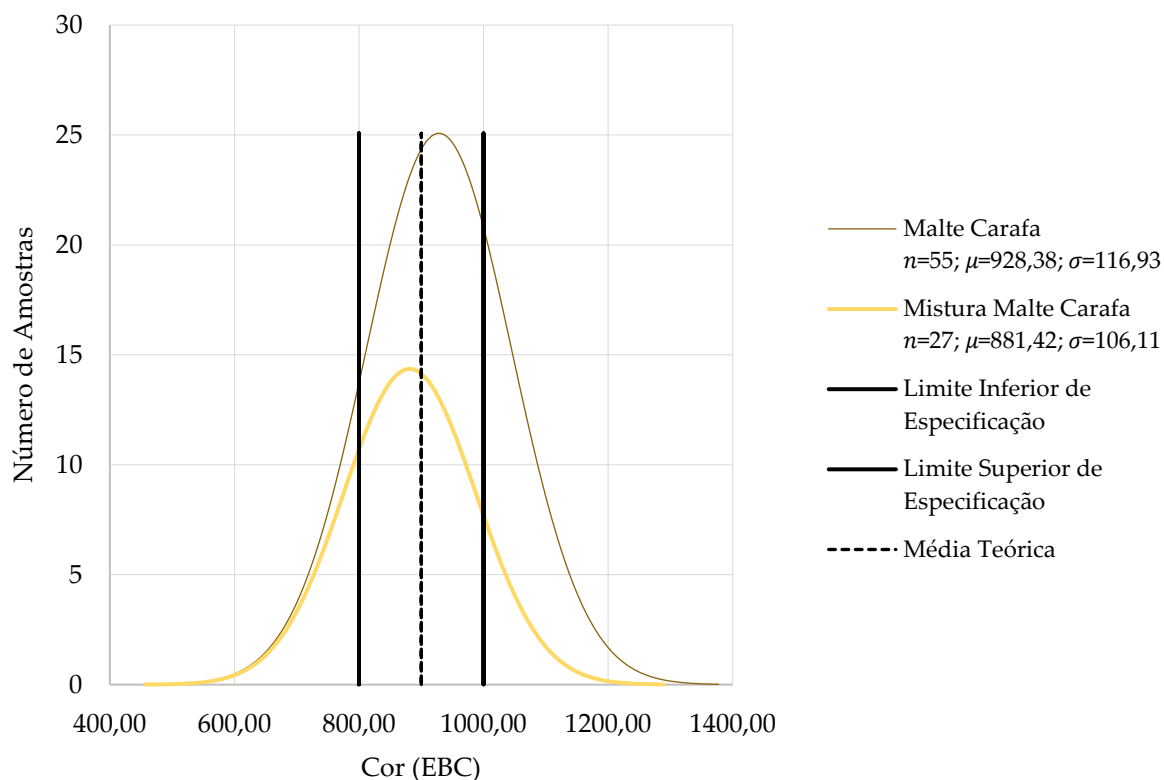


Figura 7.23 Distribuição normal dos valores de cor do malte carafa e da mistura de malte carafa, com indicação da dimensão (n), média (μ) e desvio padrão (σ) das amostras.

Relativamente ao malte *Pilsen*, foram fabricadas diversas variedades, nomeadas de A a E, sendo que a A e a C6 foram as mais largamente utilizadas, seguidas da variedade B e, por último, uma porção mais reduzida das variedades D e E. Estes tipos de malte distinguem-se em alguns dos seus parâmetros de qualidade, mas as especificações de cor permanecem comuns a todos. Todavia, como é visível pela Figura 7.21, os valores de cor das diferentes variedades de malte *Pilsen* tendem a oscilar bastante. Esta instabilidade deve-se a alterações inerentes ao processo de maltagem de cada variedade que visam a otimização de alguns parâmetros de qualidade em particular, mas que provocam um efeito indesejado na sua cor. Ainda assim, a combinação de diversos tipos de malte, que é uma prática muito comum para o aprimoramento da mistura final utilizada no fabrico de mosto, consegue, em parte, compensar estes desvios, como é possível verificar pela Figura 7.22. De facto, nota-se que a cor final das misturas mais amplamente utilizadas na SCC, com valores de $4,06 \pm 0,46$ EBC e $3,60 \pm 0,46$ EBC, está mais próxima do valor médio desejado de 3,50 EBC para esta matéria-prima. Ainda assim, ambas apresentam uma grande discrepância de valores de cor, o que não permite

que a cor final do malte *Pilsen* seja homogénea e não garante que a mesma se encontre dentro de especificação.

Neste âmbito, os esforços para reduzir a variabilidade e produzir maltes com cores dentro de especificação devem concentrar-se, primeiramente, no motivo pelo qual o processo produz matérias-primas não conformes. Para o malte *Pilsen*, o processo de maltagem cumpre diversos padrões que não são ajustados para a cor, tendo em conta que existem outros parâmetros de qualidade de maior relevância para o processo cervejeiro. Assim, não é possível fazer alterações no próprio processo que auxiliassem na homogeneização da cor deste malte. Em alternativa, o intervalo de especificação de cor poderia ser aumentado, mantendo-se a média teórica, por forma a que existissem menos não conformidades declaradas. No entanto, estes limites não são passíveis de ser alterados por fazerem parte das normas do Grupo Heineken.

Quanto ao malte carafa e mistura de malte carafa, a Figura 7.23 mostra que a cor média destas amostras, de $928,38 \pm 116,93$ EBC e $881,42 \pm 106,11$ EBC, respetivamente, tende a estar próxima do valor alvo de 900,00 EBC, apesar da grande variação de valores observada em ambas. Também é notório que a sua mistura apresenta uma cor inferior aos fabricos de, em média, 46,96 EBC. Esta perda de cor ocorre durante o armazenamento do malte carafa nos silos da malteria, sendo perceptível na cor das amostras de misturas de malte retiradas aquando da passagem do malte destes silos para os silos da brassagem. Nestes últimos, julga-se que não ocorre um decréscimo de cor tão significativo pois o tempo de armazenamento é muito curto quando comparado com o primeiro.

Por estar a par desta problemática, a malteria da SCC tem já apontado a cor dos fabricos de malte carafa para 950,00 EBC, ao invés dos 900,00 EBC atualmente fixados, de forma a compensar a posterior perda de cor. Assim, é oportuno ajustar os limites de especificação do malte carafa para estes valores, mantendo a amplitude do intervalo em $\pm 100,00$ EBC. Ou seja, o intervalo de especificação para a cor do malte carafa passa a estar delimitado inferiormente por 850,00 EBC e superiormente por 1050,00 EBC. Aqui, não seria adequado considerar-se aumentar a amplitude do intervalo de especificação pois poderia comprometer a garantia de especificação da cor da mistura de malte carafa, que é a matéria-prima realmente incorporada no fabrico de mosto e tem de seguir igualmente as normas traçadas pelo Grupo Heineken.

Confirmada e discutida a normalidade dos dados de cor do malte *Pilsen*, malte carafa e respetivas misturas, procedeu-se, finalmente, ao estudo da capacidade do processo com o cálculo dos índices C_p e C_{pk} , demonstrados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 Índices de capacidade do processo, C_p e C_{pk} , para a cor das amostras de malte *Pilsen*, mistura de malte *Pilsen*, malte carafa e mistura de malte carafa.

ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO AMOSTRAS	C_p	C_{pk}
MALTE <i>PILSEN</i> A	0,30	-0,16
MALTE <i>PILSEN</i> B	0,31	-0,11
MALTE <i>PILSEN</i> C6	0,28	0,18
MALTE <i>PILSEN</i> D	0,25	-0,07
MALTE <i>PILSEN</i> E	0,23	-0,42
MISTURA DE MALTE <i>PILSEN</i> A + C6	0,37	-0,04
MISTURA DE MALTE <i>PILSEN</i> B + C6 + E	0,36	0,29
MALTE CARAFA	0,29	0,20
MISTURA DE MALTE CARAFA	0,31	0,26

De forma concisa, nota-se que todos os valores de C_p e C_{pk} estão muito abaixo do objetivo de 1,33 que traduz, respetivamente, um processo com potencial e capaz. Efetivamente, as misturas de malte *Pilsen* tornam o processo com maior potencial, apresentando um maior C_p que os fabricos individuais deste tipo de malte. Todavia, muitas destas amostras revelam um C_{pk} negativo, o que espelha a falta de capacidade do processo ao contribuir para valores de cor que não se enquadram nos respetivos intervalos de especificação, estando completamente descentralizados.

Para o malte torrado, também a mistura de malte carafa mostra um C_p superior ao dos fabricos deste malte, comprovando a melhor adequação destes valores de cor às especificações delineadas. Aqui, o processo parece estar mais centrado, com os índices C_p e C_{pk} algo próximos. Esta relação é ainda favorecida com o ajuste efetuado ao intervalo de especificação da cor do malte carafa, resumido na Tabela 7.7, que proporcionou o aumento do C_{pk} dada a aproximação do valor médio de cor real ao novo valor médio fixado pelas especificações.

Mais uma vez, a responsabilidade deste desempenho medíocre da capacidade do processo pode ser atribuída à forte variação dos valores de cor dos diferentes maltes,

justificada por uma possível falta de representatividade das amostras coletadas e pelas condições dinâmicas a que decorre o processo de maltagem e que são de difícil monitorização.

Tabela 7.7 Novo limite de especificação para cor, em EBC, de malte carafa, bem como o respetivo impacto nos índices de capacidade do processo Cp e Cpk.

AMOSTRA	INTERVALO DE ESPECIFICAÇÃO (EBC)	LIE	VALOR MÉDIO	LSE	AMPLITUDE	Cp	Cpk
MALTE CARAFA		850,00	950,00	1050,00	± 100,00	0,29	0,22

LIE: Limite Inferior de Especificação; LSE: Limite Superior de Especificação

Em particular, a produção de malte *Pilsen*, como já mencionado, tem pouco em conta o fator de cor em relação a outros tantos atributos de qualidade considerados mais relevantes, o que se traduz numa falta de controlo deste parâmetro. Já o malte carafa depende de um processo de torrefação que, na SCC, ainda é pouco automatizado, estando sujeito a uma grande margem de erro inerente ao fator humano. De facto, a torra é terminada por decisão do operador, que, após atingidas as condições padrão, vai comparando visualmente a cor do fabrico com uma amostra padrão de cor conhecida. Quando achar que a cor padrão foi atingida, este encerra as altas temperaturas e inicia-se um período de arrefecimento do malte. Por outro lado, o sucesso da torrefação do malte também depende de fatores intrínsecos à própria matéria-prima, nomeadamente em relação à sua composição química. Por norma, o malte encaminhado para torrar é aquele que não cumpre as especificações ideais para o processo cervejeiro, possuindo um perfil em proteínas e açúcares muito heterogéneo e considerado de fraca qualidade.

Além do mais, vale notar que, para o olho humano, é muito difícil distinguir as diferenças entre cores de gamas elevadas, o que justifica a oscilação de valores de cor observados nas amostras dos fabricos de malte carafa. Estas variações são ainda agravadas na transferência de malte carafa dos silos da malteria para os silos da brassagem. De facto, enquanto nos primeiros silos os diferentes lotes estão praticamente parcelados, aquando da passagem para os segundos silos ocorre uma mistura inevitável de lotes, o que faz com que a cor da mistura de malte carafa seja completamente desconhecida. Aliás, além de desconhecida, não está devidamente homogénea, o que provoca a variabilidade intra lotes muito prejudicial para se conseguir manter a cor do mosto uniforme.

Com isto, e evitando atuar sobre o fator de automação da produção de malte carafa que implicaria elevados custos, percebeu-se que a única forma de atuar no processo seria tentar manter a sua homogeneidade, diminuindo a variabilidade inter e intra lotes. Neste âmbito, uma das principais falhas detetadas estava na demora da obtenção dos resultados de cor dos fabricos de malte carafa, que, por questões de logística do laboratório, só chegavam, em média, 3 dias após o envio da amostra. Neste sentido, procurou-se criar um método alternativo que permitisse a obtenção dos resultados de cor destas amostras num curto espaço de tempo, o que permitiria, não só, saber a cor antes de se iniciar um novo fabrico, como utilizar esta nova amostra como padrão para o fabrico seguinte.

Este trabalho implicou o acompanhamento minucioso do procedimento de preparação das amostras de malte carafa para a determinação da cor, descrito em 6.2.1 Métodos para Determinação da Cor de Malte, Mosto e Cerveja, e de onde se concluiu que a etapa mais morosa passava pelo cumprimento de todos os estágios de tempo/temperatura do *Brassin*. Como tal, pensou-se em reduzir este passo a uma espécie de infusão, o que implicaria na mesma o cumprimento das etapas anteriores e posteriores a este momento. Isto é, os vários patamares de tempo e temperatura seriam substituídos, meramente, pela adição de água destilada aquecida a cerca de 70 °C, dado ser a temperatura máxima atingida pelo *Brassin*, e posterior agitação com vareta ou agitador magnético durante cerca de 10 minutos. Esta alternativa encurta o tempo de execução deste passo de quase 2 horas para aproximadamente 10 minutos, e a sua simplicidade permite que seja realizada por técnicos da malteria por forma a não sobrecarregar o pessoal do laboratório. No entanto, é de esperar que se mantenha a determinação da cor do malte carafa pelo método atual exigido nas normas do Grupo Heineken, sendo esta alternativa apenas executada em paralelo para antecipar a obtenção deste resultado. Isto será útil para que, como já referido, se consiga arrancar com os fabricos semanais seguintes deste malte com uma prévia noção da cor média do fabrico antecedente, o que não era possível com as circunstâncias anteriores. Esta informação é crucial para que se possa ir otimizando as condições de torra e, inclusive, se consiga aplicar rapidamente eventuais medidas corretivas caso a cor não se revele conforme as especificações. Por outro lado, permite, ainda, ir atualizando constantemente o padrão que determina o cessar do processo de torrefação, o que faz com que o novo fabrico esteja a ser torrado para igualar a cor do fabrico imediatamente anterior.

A exatidão deste procedimento alternativo foi testada com 3 amostras de malte carafa, e os seus resultados, exibidos na Tabela 7.8, revelaram-se promissores. De facto, a variação dos

valores de cor obtidos pelos dois métodos é mínima, validando a eficácia deste último para o propósito com que foi sugerido. No entanto, vale novamente realçar que isto não implica extinguir o método de determinação da cor atual, até porque continua a ser o reconhecido oficialmente.

Tabela 7.8 Valores de cor, em EBC, das amostras de malte carafa analisadas tanto pelo método de rotina como pelo método alternativo proposto, e respetiva diferença percentual entre ambos.

COR (EBC) AMOSTRAS	MÉTODO DE ROTINA (3 DIAS)	MÉTODO ALTERNATIVO (1,5 HORAS)	DIFERENÇA DO MÉTODO ALTERNATIVO (%)
AMOSTRA A	1060,53	1045,61	-1,41
AMOSTRA B	1068,17	1033,09	-3,28
AMOSTRA C	1019,41	1021,31	0,19

Posto isto, espera-se que somente estas simples alterações contribuam para a problemática da fraca homogeneização do malte carafa, reduzindo a variabilidade entre lotes. Esta ação de melhoria manteve-se a ser testada pela Empresa e, se continuar a revelar resultados positivos, poderá vir a ser efetivamente adotada.

7.3.3 Fermentação e Guarda

Para a fase de Fermentação e Guarda não foram desenvolvidas quaisquer ações de melhoria específicas, pois, acredita-se que as eventuais falhas de cor que aqui se manifestam provenham já de problemas na fase anterior de Brassagem. De facto, não parecem existir grandes fenómenos que impactem este parâmetro de qualidade entre estas fases do processo produtivo, além de um decréscimo natural da cor por remoção de alguns compostos coloridos que podem ficar adsorvidos à levedura ou ser precipitados.

Ainda assim, suspeita-se que a quantidade de falhas detetadas nesta etapa, referentes às amostras de cerveja verde e, em alguns casos, cerveja maturada, estava exacerbada pelo desajuste dos intervalos de especificação de cor destas amostras. Estes, foram devidamente revistos, para as principais marcas, na secção anterior 7.3.1 Análise aos Limites de Especificação para Cor. Com efeito, somente estas ações permitiram uma redução teórica do número de falhas de cor de 75,77% e 70,37% das marcas Sagres® e Heineken®, respetivamente.

7.3.4 Filtração

Na secção de Filtração da SCC, a etapa com maior impacto na cor da cerveja final é a correção de cor com extrato de malte, algo que ocorre esporadicamente em algumas marcas de cerveja e muito frequentemente noutras. Todavia, este procedimento revelou algumas lacunas para as quais foram desenvolvidas várias ações de melhoria, como a elaboração de LUPs com ênfase em alguns detalhes importantes do procedimento de doseamento de extrato de malte e a revisão da fórmula de cálculo para a adição desta matéria-prima. Ademais, dado que alguns dos componentes mecânicos vitais a este procedimento não se encontravam nas devidas condições operacionais, foi destacada a importância do cumprimento dos respetivos planos de calibração. Esta ação foi, ainda, completada com a elaboração de uma carta de controlo para a monitorização contínua do funcionamento destes componentes e a deteção antecipada de eventuais descalibrações.

7.3.4.1 Procedimento de Correção de Cor da Cerveja com Extrato de Malte

Dada a especial importância do parâmetro da cor na cerveja final, acentuada com a existência do FTR Cor, é comum a adoção de diversas estratégias que visam o ajuste deste parâmetro de qualidade. Na SCC, este procedimento dá-se com a aplicação de extrato de malte de cor escura, atualmente em uso o RB1500/45 da PureMalt® com uma especificação de cor que ronda os 17000 EBC. O doseamento desta matéria-prima é feito com recurso ao equipamento ADoS (*Additive Dosing System*) F218568 da Centec GmbH®, representado na Figura 7.24.

Este procedimento é ocasionalmente utilizado quando a cor da cerveja maturada, após corrigida com um fator de perda de cor e com a taxa de diluição que irá sofrer, se revela abaixo dos limites de especificação fixados para o produto final. Estas diferenças são muito importantes de serem contabilizadas pois a cor registada na amostra de cerveja maturada recolhida rotineiramente irá sofrer alterações inerentes ao próprio processo produtivo. Por um lado, a adição de auxiliares de filtração, comumente *kieselguhr*, PVPP e sílica, provoca a retenção de algumas partículas coloridas. Por outro lado, a água incorporada, em virtude da necessidade de diluição da cerveja maturada pelo modo de produção HGB, também leva naturalmente a uma atenuação da cor. Além destes casos pontuais, esta metodologia de correção de cor é ainda largamente utilizada para a criação de um novo estilo de cerveja de cor escura a partir de uma cerveja em guarda de cor clara.



Figura 7.24 Equipamento de doseamento de extrato de malte para correção de cor da cerveja filtrada instalado na SCC.

Para a execução deste procedimento, primeiramente deve ser determinada a quantidade de extrato de malte necessária a incorporar na cerveja para o alcance da cor final desejada. Presentemente, esta estimativa é efetuada com recurso a uma folha de *Excel*, representada na Figura 7.25, devidamente concebida para o cálculo automático da cor final da cerveja com base em vários parâmetros que devem ser preenchidos.

De modo geral, são cinco as entradas tidas em consideração, nomeadamente (1) o valor de cor ajustado, em EBC, da respetiva cerveja em guarda; (2) o volume da produção, em hL; (3) a cor, em EBC, do lote de extrato de malte em uso; (4) a quantidade de extrato de malte, em kg; e (5) o volume final da produção, em hL, que é calculado automaticamente considerando o volume inicial e a dose de extrato de malte incorporada. Com isto, nota-se que o valor da quantidade de extrato de malte necessário é obtido de uma forma indireta ao fazer-se variar este mesmo termo até que o valor estimado da cor final corresponda ao desejado.

Além do mais, vale referir que, neste cálculo, existem mais quatro parcelas auxiliares que são tidas em atenção para o ajuste do valor de cor da cerveja em guarda. Uma destas entradas é fixa e diz respeito ao fator de cor a descontar. As outras variáveis são referentes ao valor de extrato, em °P, da respetiva cerveja em guarda e ao valor de extrato, em °P, pretendido

na cerveja final, que servem para calcular a última parcela correspondente à taxa de diluição a abater sobre o valor de cor da cerveja preliminar.

Correção de Cor					
	Volume (hL) / Quantidade (kg)	Cor (EBC)	Extrato (°P)	Diluição	
Cerveja	Volume da Produção	Cor em Guarda Ajustada	Extrato em Guarda		
Extrato de Malte	Quantidade de Extrato de Malte	Cor do Extrato de Malte			
Total	Volume Total da Produção (considerando a adição do extrato de malte)	Cor Final	Extrato Final	Taxa de Diluição	Fator de Cor

Figura 7.25 Representação do *Excel* com o modo de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear. A azul estão representadas as variáveis necessárias de serem introduzidas, com destaque para aquela parcela que se deve fazer variar até à obtenção da cor final desejada, assinalada a verde. A amarelo estão retratadas as variáveis auxiliares para o ajuste do valor de cor em guarda.

Após o cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear para serem atingidas as especificações de cor pretendidas, esta dose é colocada manualmente no caldeiro do equipamento de correção de cor com atenção ao valor registado pela balança do mesmo. Um apontamento que vale a pena assinalar é que, em todos os arranques deste equipamento, o mesmo comporta uma purga automática de aproximadamente 1,00 kg. Ora, em jeito de boas-práticas, este desperdício deve ser compensado na quantidade de extrato de malte inserida no caldeiro para que não tenha impacto na cor do produto final, principalmente se a quantidade total de extrato de malte a dosear ou o volume de produção for mais reduzido. Este alerta, para conhecimento geral dos operadores, foi traduzido numa LUP, mostrada na Figura 7.26.

Após colocada a correta quantidade de extrato de malte no equipamento de correção de cor, deve ser inserido, no sistema operacional que comanda o processo produtivo, o rácio de cor, correspondente ao quociente entre a quantidade de extrato de malte a ser doseada, em g, e o volume a ser produzido, em hL. Este rácio é automaticamente convertido num valor de caudal, expresso em quilogramas por hora (kg/h), que indica a quantidade de extrato de malte, em kg, a ser injetada por hora, dependendo do caudal em linha de cerveja diluída. Assim, é este fator que assegura o doseamento completo e uniforme do extrato de malte, o que faz com que todos estes componentes mecânicos referidos sejam cruciais para o sucesso deste procedimento.



Lição Um Ponto



Área: Filtração	Tema: Adição de Extrato de Malte para Correção de Cor			Nº 1624
Pilar: GA Fabricação & Utilidades	Elaboração: Inês Matias	Aprovação: Miguel Carvalho	Data: 21/06/2023	Versão: v1

Atenção: Respeitar todas as regras e procedimentos de segurança.
Recorde: Iniciar LUP com requisitos de segurança específicos para as atividades descritas.

Equipamentos e Materiais:

- I. ADoS (Additive Dosing System) F218568 Centec GmbH®
- II. Extrato de Malte (RB1500/45 Pure Malt®)

• Procedimento de Adição de Extrato de Malte:

1. Verificar a quantidade de extrato de malte a dosear e preparar o número de embalagens de produto necessárias junto ao equipamento de correção de cor;
2. Iniciar o programa do equipamento no BrewMaxx e aguardar pela sequência "Enchimento";
3. Abrir o caldeiro do equipamento e colocar o extrato de malte, aferindo a quantidade com o valor medido pela balança do próprio equipamento (valor exibido no BrewMaxx e possível de ser visualizado no *IPad*);



Atenção: Sempre que se arrancar com o programa, considerar mais **1 kg** de extrato de malte para compensar a purga automática do equipamento.

Nota: Caso a balança do próprio equipamento de correção de cor não estiver devidamente operacional, deverá pesar-se previamente a quantidade de extrato de malte indicada numa balança adequada ao efeito e para um recipiente íntegro e bem higienizado.

Figura 7.26 LUP sobre o procedimento de adição de extrato malte, com alerta para a consideração da purga automática do equipamento aquando do seu arranque.

4. Confirmar que o valor pesado, exibido em BrewMaxx, corresponde à quantidade de extrato de malte a dosear;
5. Dar o "OK" no BrewMaxx para dar seguimento ao restante programa do equipamento.

Figura 7.26 LUP sobre o procedimento de adição de extrato malte, com alerta para a consideração da purga automática do equipamento aquando do seu arranque (Continuação).

7.3.4.1.1 Ajuste da Fórmula de Cálculo da Quantidade de Extrato de Malte

Com o seguimento contínuo do procedimento de correção de cor com extrato de malte, foram detetadas algumas falhas comuns aquando da sua execução para a criação de um novo estilo de cerveja escura a partir de uma cerveja em guarda clara. Este cenário acontece, por exemplo, para a marca Bohemia Bock®, onde foi repetidamente notório um grande desvio entre a cor estipulada na fórmula de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear e a cor real final, que, na grande maioria das vezes, se revelou acima do LSE.

Esta era uma problemática já vagamente conhecida pela Empresa, mas ainda sem quaisquer causas apuradas. Assim, foi pertinente avançar com uma análise das Causas-Raiz da Falha, vulgo RCFA, através da elaboração de uma Análise de 5 Porquês. Neste tipo de abordagem, é importante descrever o problema e, num exercício intenso de troca de ideias, identificar possíveis causas para o mesmo que devem ser posteriormente validadas.

Para o modo de falha aqui identificado, pegou-se num lote particular que exibiu esta problemática de cor alta e fora de especificação em Bohemia Bock® e realizou-se uma Análise de 5 Porquês, mostrada na Figura 7.27. Foram identificadas cinco possíveis potenciais causas, detalhadas em seguida:

I. Quantidade de extrato de malte adicionada ao equipamento de correção de cor superior à solicitada;

Este cenário levaria a que a cor final fosse superior àquela prevista pela fórmula de cálculo. De facto, noutra ação, abordada adiante na secção 7.3.4.2 Operacionalidade do Equipamento de Correção de Cor, notou-se que a balança deste equipamento estava descalibrada, mas as respetivas medidas corretivas já haviam sido adotadas e os operadores pesaram o extrato de malte numa balança externa ao equipamento de correção de cor, pelo que esta causa foi descartada.

II. Taxa de diluição inferior à indicada;

Neste caso, isto resultaria numa menor quantidade de água adicionada e numa cerveja final mais concentrada com a cor evidenciada e superior à estipulada. Este cenário também não se confirmou, pois, a taxa de diluição aplicada foi a pretendida e o extrato da cerveja final está de acordo com as especificações.

III. O extrato de malte utilizado tem uma cor superior à indicada no boletim de qualidade do respetivo lote;

Em caso afirmativo, isto faria com que, para a mesma quantidade de extrato de malte, a cor final da cerveja fosse mais elevada que a esperada. Esta hipótese foi avaliada com a realização, em laboratório, de um ensaio para a confirmação da cor do extrato de malte, sendo que o resultado obtido foi ao encontro daquele indicado no boletim com um desvio mínimo de 0,67%.

IV. O valor de cor da cerveja em guarda considerado para o cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear não foi o real, supondo-se a possibilidade desta cerveja ter sofrido um aumento de cor significativo aquando da sua maturação;

De facto, se o valor de cor incluído na fórmula de cálculo fosse inferior ao real, isto resultaria numa estimativa de uma maior dose de extrato de malte, o que depois poderia resultar numa cor final mais alta do que a estipulada. No entanto, a amostra em causa da cerveja em guarda foi retirada no próprio dia em que se procedeu à correção de cor, pelo que esta hipótese não é válida.

V. A fórmula de cálculo para a quantidade de extrato de malte a dosear apresenta falhas quando utilizada para a produção de um novo estilo de cerveja escura a partir de uma cerveja em guarda clara.

Esta hipótese foi testada com uma experiência laboratorial, na qual se notou que a fórmula atual, efetivamente, não estava ajustada para estes cenários, podendo esta incorreção constituir uma causa provável para o problema anunciado.

Identificada a potencial causa para a problemática da cor alta e fora de especificação em Bohemia Bock®, vale detalhar o ensaio laboratorial efetuado que permitiu esta conclusão ao estabelecer a relação entre a quantidade de extrato de malte doseada e a variação de cor na cerveja final.

Folha de Análise 5 Porquês

Descrição do problema (Modo de falha)	Causas Potenciais										4M	Plano de Ação					
	1º Porquê	Verificado	2º Porquê	Verificado	3º Porquê	Verificado	4º Porquê	Verificado	5º Porquê	Verificado		Ações corretivas	Quem	Data	Ações preventivas	Quem	Data
Bohemia Bock em TCF (lote T23BK00003) com cor alta e fora de especificação	Quantidade de extrato de malte adicionada ao sistema de correção de cor foi diferente da indicação dada	Não															
	A taxa de diluição da cerveja foi inferior à estipulada	Não															
	O extrato de malte tem cor superior à indicada no boletim	Não															
	O valor de cor de Bohemia Bock em guarda considerada para o cálculo não era o real	Não															
	A fórmula de cálculo para a quantidade de extrato de malte a dosear apresenta desvios	Sim	A fórmula está desajustada para a produção de cervejas com unidades de cor superiores a ≈ 14 EBC	Sim	Para cores superiores a ≈ 14 EBC em TCF, a quantidade de extrato de malte indicada pela fórmula é superior à necessária	Sim				Método				Ajuste da fórmula de cálculo para a quantidade de extrato de malte a dosear	Inês Matias	A partir de 03/04/2023	

Avarias

- ☐ Desgaste "torçado"
- ☐ Desgaste natural
- ☐ Esforço excessivo
- ☐ Fragilidade do equipamento

Defeitos

- ☒ Desvio normal do processo
- ☐ Processo fora de controlo
- ☐ Desvio do set point do processo
- ☐ Erro de deteção

Acidente / Incidente / QA

- ☐ Utilização EPIs
- ☐ Falha dispositivo de segurança
- ☐ Incumprimento procedimento
- ☐ Falta / falha de procedimento
- ☐ Risco residual

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- ☐ Mão Obra
- ☐ Gestão

Condições Básicas

- ☐ Condições Operação
- ☐ Deterioração prolongada
- ☐ Falha Projeto
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro Manutenção

Sistema de controlo da Qualidade

- ☒ Sistema de controlo da Qualidade
- ☐ Problema tecnológico
- ☐ Condições básicas
- ☐ Erro Operação
- ☐ Erro de concepção do processo

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Medição

Material

- ☐ Material
- ☐ Máquina
- ☐ Mão Obra

Regras não claras

- ☐ Regras não claras
- ☐ Falta de ferramenta / erro de projeto
- ☐ Incidente técnico
- ☐ Problema técnico crónico
- ☐ Ato inseguro / comportamento

Método

- ☐ Método
- ☐ Material
- ☐ Máquina / Ambiente
- <

Nesta experiência, a uma amostra inicial de cerveja de cor conhecida foi adicionada uma pequena quantidade definida de extrato de malte e avaliou-se a cor final da mistura, sendo este procedimento repetido várias vezes com o aumento sucessivo da dose de extrato de malte até que a gama de cor final abrangesse valores próximos àqueles registrados pela marca de cerveja em estudo. Para se conseguir estipular que quantidade desta matéria-prima se deveria ir adicionando, decidiu-se que a cor final da mistura de cerveja com extrato de malte deveria ir apresentando valores aproximados de 5,00 em 5,00 unidades EBC. Ora, tendo em conta que a amostra preliminar deveria ter uma cor próxima de 8,00 EBC, então previu-se, pela fórmula de cálculo atual, que a quantidade de extrato de malte a dosear para um aumento de cor de 5,00 EBC num volume de 500,0 mL era cerca de 0,18 g. Assim, o primeiro ensaio não terá adição de extrato de malte e apresentará uma cor próxima de 8,00 EBC; o segundo ensaio incorporará sensivelmente 0,18 g de extrato de malte para uma cor final de cerca de 13,00 EBC; o terceiro ensaio incluirá a adição de aproximadamente 0,36 g de extrato de malte para uma cor resultante próxima de 18,00 EBC; e daí em diante até ao décimo quarto ensaio onde serão adicionados cerca de 2,34 g de extrato de malte para uma cor final esperada de 75,00 EBC. O esquema da preparação dos vários ensaios desta experiência laboratorial está sistematizado na Figura 7.28.

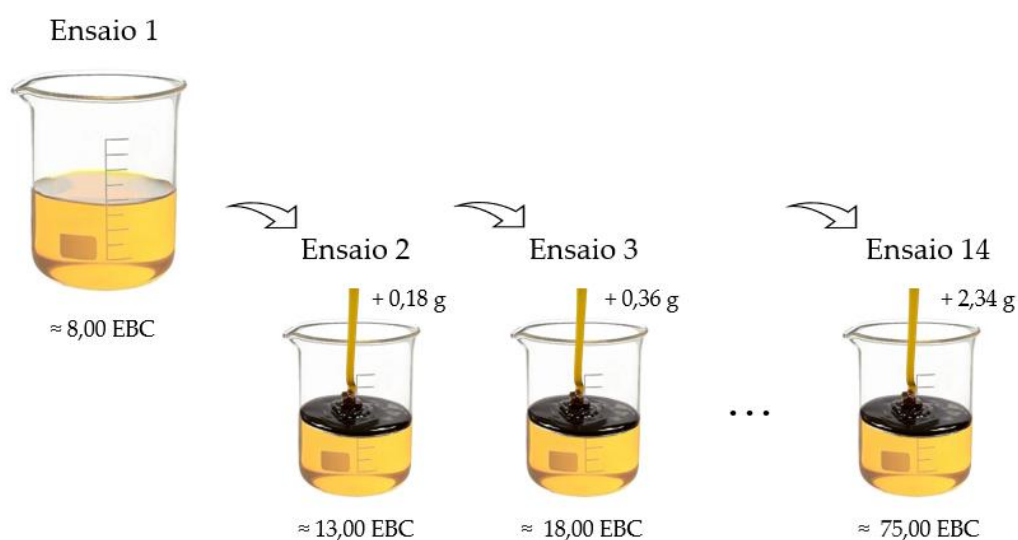


Figura 7.28 Esquema do ensaio laboratorial para a determinação da relação entre a quantidade de extrato de malte doseada e a variação de cor na cerveja final.

Definidas as linhas gerais para a experiência, primeiramente procedeu-se à recolha da amostra tida como original para os vários ensaios, que constou numa amostra de cerveja filtrada de cor clara. Esta foi preparada de acordo com o procedimento descrito na secção 6.2.1 Métodos para Determinação da Cor de Malte, Mosto e Cerveja e a determinação da sua cor, bem como de todas as misturas procedentes, foi realizada em duplicado e simultaneamente pelo espectrofotómetro *Cary 60 UV-Vis*, da *Agilent Technologies*, e pelo Sistema de Análise de Cervejas *Alcolyzer*[®], tendo em conta que este último equipamento é o rotineiramente utilizado na medição deste parâmetro. Já o procedimento de adição de extrato de malte deu-se com base no material utilizado pela empresa, o RB1500/45 da *PureMalt*[®], pesado numa balança (*AE200*, da *Mettler Toledo*) para um copo de precipitação com o auxílio de uma espátula. Posto tudo isto, a aparência dos catorze ensaios está representada, por ordem crescente, na Figura 7.29. Inicialmente, é notória a gradação de cor com o aumento sucessivo da dose de extrato de malte, mas para as gamas de cor mais elevadas esta oscilação deixa de ser perceptível.

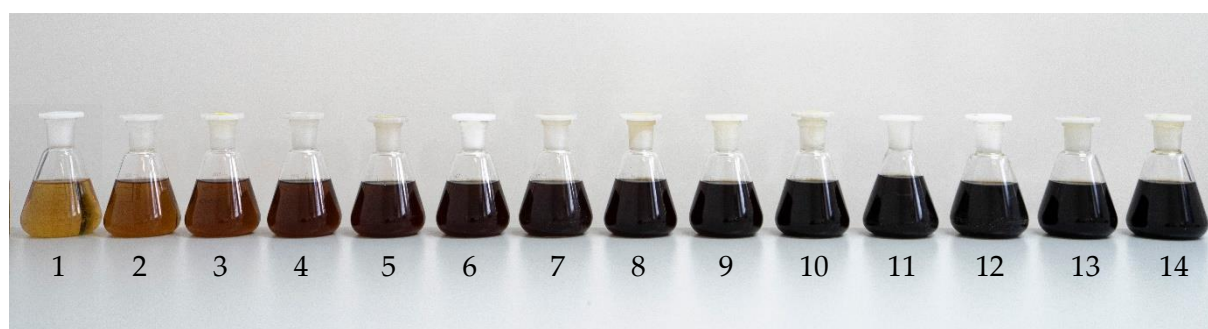


Figura 7.29 Resultado final dos catorze ensaios, numerados de 1 a 14, resultantes da mistura de cerveja de cor clara com uma dose gradual de extrato de malte.

Os dados da cor final destes ensaios, em EBC, e respetiva quantidade de extrato de malte realmente adicionada relativamente ao volume de cerveja, em quilogramas por hectolitro (kg/hL), permitiram traçar a relação entre estas duas variáveis, visível na Figura 7.30. Comparando os dois métodos utilizados na determinação da cor destas amostras, nota-se uma variação significativa nos resultados que tende a crescer com o aumento da gama de cor final da cerveja. Para o mesmo exemplar, o Sistema de Análise de Cervejas *Alcolyzer*[®] auferiu um valor de cor mais baixo que o espectrofotómetro, sendo que esta oscilação pode ser explicada pelas diferentes sensibilidades e exigências de operacionalidade dos equipamentos. De facto, o manual do *Alcolyzer*[®] fala que, no geral, as medições dos vários parâmetros que analisa requerem ajustes e calibrações com água e uma solução de água e álcool, mas realça que as

medições de cor devem ser ajustadas com um padrão de cor adequado. Esta prática não é realizada com tanta frequência, o que poderá justificar os valores de cor um tanto desviados. Já o ajuste do espectrofotômetro é feito a cada utilização com a preparação de uma amostra em branco com água destilada, cuja absorvância deve ser conformada para o valor nulo. Assim, acredita-se que os valores de cor obtidos pelo espectrofotômetro sejam mais exatos que aqueles obtidos pelo *Alcolyzer*®, apesar de, por conveniência, estes últimos serem considerados como padrão para a análise de rotina das várias amostras.

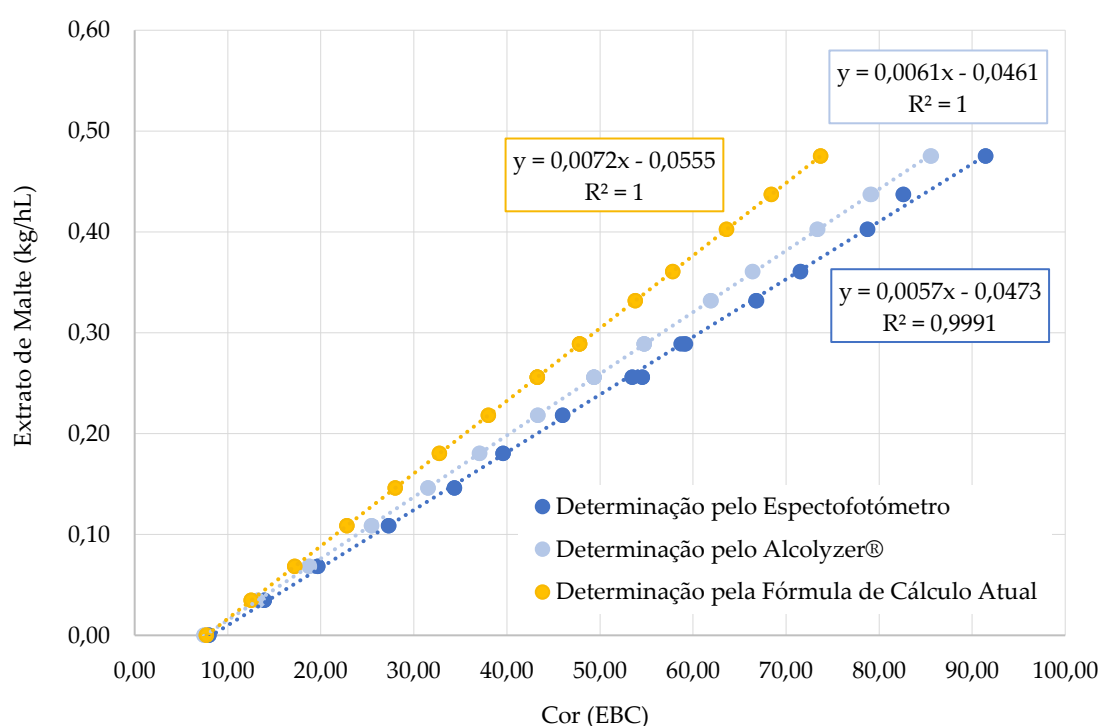


Figura 7.30 Relação entre a cor da cerveja, em EBC, e a quantidade de extrato de malte incorporada relativamente ao seu volume, em kg/hL, discriminada consoante a determinação da cor tenha sido realizada pelo espectrofotômetro, pelo Sistema de Análise de Cervejas *Alcolyzer*®, ou estimada pela fórmula de cálculo atual.

Ademais, tendo o valor exato da quantidade de extrato de malte doseada em cada amostra e conhecendo o seu valor de cor inicial, calculou-se qual seria a cor esperada para cada ensaio pela fórmula de cálculo atual. Estes dados, também visíveis na Figura 7.30, mostram que a relação entre a quantidade de extrato de malte e a cor final da cerveja não está totalmente bem retratada pela fórmula atual. Esta conclusão é particularmente válida para situações em que se procede ao ajuste de cor de uma cerveja clara para uma cerveja final mais escura, como é o caso de Bohemia Bock®. Aqui, para a mesma cor alvo, a fórmula de cálculo

parece indicar sempre que é necessária uma maior quantidade de extrato de malte que a realmente exigida, o que proporciona uma cor final mais alta do que a esperada tal como menciona a problemática aqui abordada. No outro contexto, em que as quantidades de extrato de malte doseadas são menores pois a cor de guarda é apenas ligeiramente corrigida por se revelar abaixo dos limites de especificação fixados para o produto final, a cor prevista pela fórmula de cálculo parece estar de acordo com a cor final real.

Provada a necessidade de ajuste da fórmula de cálculo da quantidade de extrato de malte, principalmente para os cenários que exigem a adição de grandes quantidades desta matéria-prima para a criação de um novo estilo de cerveja escura com base em cerveja clara, foi-se tentar perceber, junto do fornecedor, se existia alguma norma que detalhasse o modo de utilização deste material. Num dos documentos, que fornecia orientações sobre a sua taxa de adição, estava descrito que o ajuste de cor de somente uma unidade EBC era conseguido pelo doseamento de 0,006 kg/hL deste tipo de extrato de malte, tendo sido este valor a base para a construção de uma nova fórmula de cálculo.

Com efeito, a nova fórmula de cálculo para a quantidade de extrato de malte a dosear utiliza praticamente as mesmas entradas que a fórmula anterior, mas relaciona-as de forma diferente. Além disso, esta fórmula foi construída de forma contrária à atual para que a determinação da dose de extrato de malte não seja obtida pela variação deste mesmo termo até que o valor previsto para a cor final fosse o desejado. Assim, as principais entradas desta fórmula são (1) a cor da respetiva cerveja em guarda, em EBC, ajustada com base num fator de cor fixo e na taxa de diluição calculada pelo valor de extrato, em °P, da cerveja em guarda e o valor de extrato, em °P, pretendido na cerveja final; (2) o volume da produção, em hL; (3) a cor, em EBC, do lote de extrato de malte em uso; (4) a cor, em EBC, desejada na cerveja final; e (5) o volume final da produção, em hL, estimado automaticamente considerando o volume inicial e a dose de extrato de malte incorporada. No mesmo *Excel* onde esta fórmula foi desenvolvida, representado na Figura 7.31, adaptou-se ainda este modelo para a determinação da cor final da cerveja com base na quantidade de extrato de malte incorporada, sendo que as restantes entradas são comuns ao cálculo anterior.

Por forma a validar esta nova fórmula para a determinação da quantidade de extrato de malte a dosear, especialmente para Bohemia Bock®, esta foi aplicada nas restantes produções desta marca. Durante o período de estágio, até ao final de junho, foram produzidos mais quatro lotes de Bohemia Bock® e todos revelaram uma cor final dentro de especificação, contribuindo para uma taxa de sucesso de, até então, 100%. Vale realçar que, nas restantes

situações que apenas requerem um ligeiro ajuste de cor, esta fórmula mostrou-se igualmente eficaz, o que leva a crer que este modelo está efetivamente ajustado a multímarcas.

Correção de Cor - Cálculo da Quantidade de Extrato de Malte						
	Volume (hL) / Quantidade (kg)	Cor (EBC)	Extrato (°P)	Diluição		
Cerveja	Volume da Produção	Cor em Guarda Ajustada	Extrato em Guarda			
Extrato de Malte	Quantidade de Extrato de Malte	Cor do Extrato de Malte				
Total	Volume Total da Produção (considerando a adição do extrato de malte)	Cor Final	Extrato Final	Taxa de Diluição	Fator de Cor	
Correção de Cor - Cálculo da Cor Final						
	Volume (hL) / Quantidade (kg)	Cor (EBC)	Extrato (°P)	Diluição		
Cerveja	Volume da Produção	Cor em Guarda Ajustada	Extrato em Guarda			
Extrato de Malte	Quantidade de Extrato de Malte	Cor do Extrato de Malte				
Total	Volume Total da Produção (considerando a adição do extrato de malte)	Cor Final	Extrato Final	Taxa de Diluição	Fator de Cor	

Figura 7.31 Representação do *Excel* com o novos modos de cálculo da quantidade de extrato de malte a dosear e do valor de cor final. A azul estão representadas as variáveis necessárias de serem introduzidas para a obtenção da variável assinalada a verde, e a amarelo estão retratadas as variáveis auxiliares para o ajuste do valor de cor em guarda.

7.3.4.2 Operacionalidade do Equipamento de Correção de Cor

O sucesso do procedimento de correção de cor com extrato de malte advém de muitos fatores, incluindo o correto funcionamento do respetivo equipamento. Este último, está largamente dependente de dois dos seus principais componentes, nomeadamente a balança e o caudalímetro. Por um lado, caso a balança não esteja em pleno funcionamento, então a exatidão da quantidade de extrato de malte inserida não está assegurada e pode levar à incorporação de doses incorretas, o que, obviamente, terá um impacto direto na cor do produto final. Por outro lado, como o doseamento está dependente do caudalímetro do próprio equipamento, que controla o fluxo de extrato de malte a ser injetado consoante o rácio de cor

e o caudal de cerveja em linha, este componente também deve estar em ótimas condições operacionais.

Contudo, com o acompanhamento contínuo do funcionamento deste equipamento, percebeu-se que estes dois principais componentes não se encontravam nas devidas condições operacionais já que se revelaram descalibrados. Como tal, foi urgente programar as devidas calibrações à balança e ao caudalímetro do equipamento de correção de cor, uma ação que ficou agendada.

Até que se dê esta recalibração, foram adotadas medidas corretivas temporárias que exigem a pesagem do extrato de malte numa balança externa e a programação manual do caudal de doseamento deste material. De facto, não estando asseguradas as condições operacionais do equipamento de correção de cor, mais especificamente do respetivo caudalímetro, a determinação do rácio de cor não consegue garantir um adequado doseamento desta matéria-prima. Isto acontece, pois, apesar deste fator indicar corretamente qual o caudal conveniente para a incorporação de extrato de malte, o caudalímetro não será capaz de cumpri-lo se estiver descalibrado. Assim, o operador, com base no volume da produção e no *set-point* do caudal em linha de cerveja filtrada, tem noção do tempo que demorará a encher um TCF. Portanto, ao dividir a quantidade total de extrato de malte considerada por esse período temporal, consegue chegar ao valor ideal do caudal de extrato de malte que assegura um doseamento correto e faseado. No entanto, não é possível definir o valor de caudal no sistema operacional que comanda o processo produtivo, pelo que se tem de, por tentativa erro, ir inserindo valores para o rácio de cor até que o valor de caudal calculado seja o pretendido.

Mal o equipamento retorne à sua condição básica, o procedimento de correção de cor com extrato de malte deve voltar a decorrer segundo a normalidade já que os sistemas automatizados tendem a ter um melhor controlo processual. Neste âmbito, e para relembrar os operadores da importância da determinação do rácio de cor como sendo o elemento que leva à regulação de um doseamento correto e uniforme de extrato de malte, considerou-se relevante a elaboração de uma LUP para esta temática, retratada na Figura 7.32.

		Lição Um Ponto			
Área: Filtração		Tema: Rácio de Cor			Nº 1626
Pilar: GA Fabricação & Utilidades		Elaboração: Inês Matias	Aprovação: Miguel Carvalho	Data: 21/06/2023	Versão: v1

Atenção: Respeitar todas as regras e procedimentos de segurança.
Recorde: Iniciar LUP com requisitos de segurança específicos para as atividades descritas.

Equipamentos e Materiais:

- I. ADoS (Additive Dosing System) F218568 Centec GmbH®

• Determinação do Rácio de Cor:

1. Iniciar o programa do equipamento de correção de cor no BrewMaxx e aguardar pela sequência "Pronto para dosar";
2. Ir ao programa do *Carboblender* da linha de filtração pretendida;
3. Ir aos "Parâmetros de Processo";
4. Ir ao ponto "Rácio de Cor";

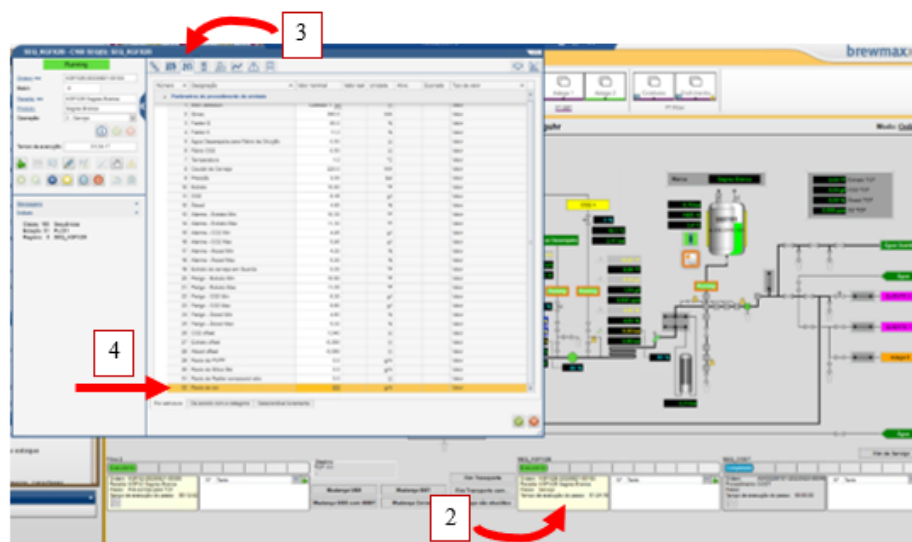


Figura 7.32 LUP sobre a determinação do rácio de cor.

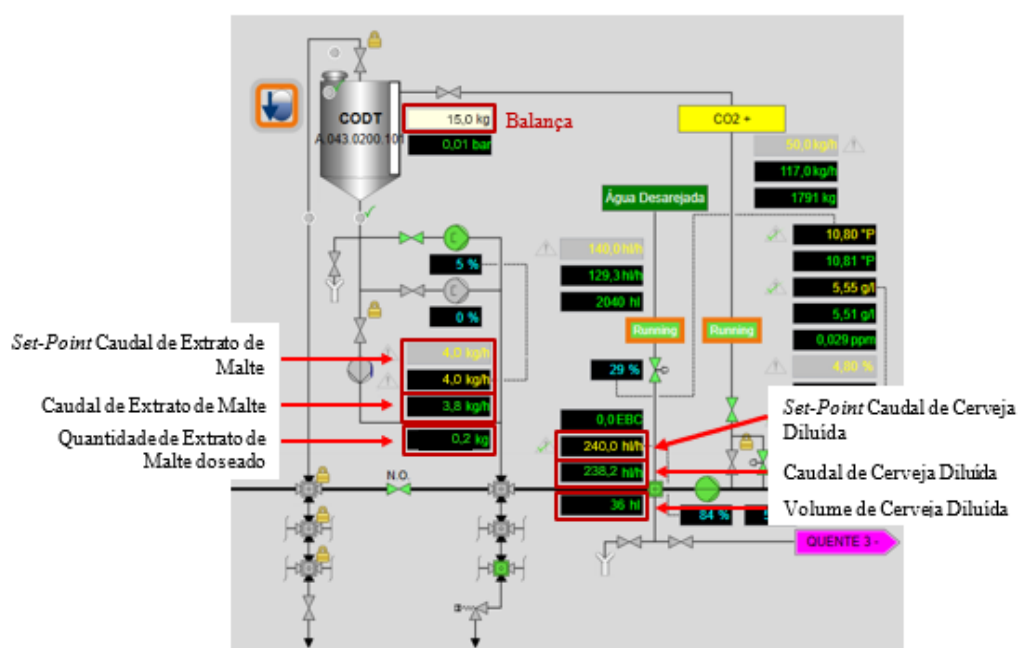
4.1. O valor a colocar no "Rácio de Cor" corresponde ao quociente entre a quantidade de extrato de malte a ser doseada, em gramas, e o volume a ser produzido, em hectolitros:

$$\text{Rácio de Cor } \left(\frac{g}{hL} \right) = \frac{\text{Extrato de Malte (g)}}{\text{Volume (hL)}}$$

Exemplo: Numa produção de 1000 hL de cerveja com 15 kg de extrato de malte, o Rácio de Cor a considerar é $\frac{15\,000\,g}{1000\,hL} = 15\,g/hL$.

Este rácio é automaticamente convertido num valor de caudal, expresso em kg/h, que indica a quantidade de extrato de malte (kg) a ser injetada por hora (h), dependendo do caudal de cerveja diluída. Este valor de caudal assegura o doseamento completo e uniforme.

Exemplo (seguimento do exemplo anterior): Se o set-point do caudal de cerveja diluída for de 240 hL/h, então encher um TCF com 1000 hL demorará $\frac{1000}{240} \approx 4,17\,h$. Como se pretende dosear 15 kg, o caudal de extrato de malte deverá ser $\frac{15\,kg}{4,17\,h} \approx 4,00\,kg/h$. É este set-point que será exibido em BrewMaxx.



Nota: Este Rácio de Cor apenas garante o correto doseamento de extrato de malte se o caudalímetro do equipamento de correção de cor e o caudalímetro de cerveja diluída estiverem devidamente operacionais. Se algum destes caudalímetros não estiver na sua condição básica (descalibrado, por exemplo), avisar de imediato os responsáveis.

Figura 7.32 LUP sobre a determinação do rácio de cor (Continuação).

Ainda assim, como este equipamento é relativamente recente na SCC, tendo sido somente instalado em 2021, não se conhece bem o seu histórico em relação à necessidade de calibração, isto é, ainda não está definido um intervalo de calibração que assegure a total ausência de desvios. Como tal, de forma a se estabelecer a correta periodicidade de um plano de calibração que garanta a operacionalidade do equipamento, houve a necessidade de criação de uma espécie de carta de controlo. Esta ação de melhoria está detalhada na secção seguinte

7.3.4.2.1 Carta de Controlo do Equipamento de Correção de Cor.

7.3.4.2.1 Carta de Controlo do Equipamento de Correção de Cor

A carta de controlo é uma das principais ferramentas da qualidade e auxilia na identificação de tendências prejudiciais a um processo produtivo, bem como na tomada das respetivas decisões sobre as medidas corretivas mais adequadas. Deste modo, ao permitir uma monitorização contínua da estabilidade de um processo, a carta de controlo irá auxiliar na previsão de desvios de calibração e na determinação de um intervalo de recalibração eficiente.

A fim de satisfazer estas exigências para o equipamento de correção de cor, a carta de controlo desenvolvida tem de ter como base um parâmetro indicador de uma eventual descalibração, sendo o mais óbvio o desvio da cor real do produto final em relação à cor estimada pela fórmula de cálculo. É suposto que, garantidas as condições básicas deste equipamento, esta diferença seja mínima. Caso contrário, um valor elevado de desvio de cor sugere alguma anomalia durante o procedimento de doseamento de extrato de malte, e que muito provavelmente será indicativa de uma necessidade de calibração de algum dos componentes do respetivo equipamento. Aqui, vale referir que apenas existem duas causas extrínsecas ao equipamento de correção de cor que podem contribuir para uma divergência da cor real final em relação à cor estimada, sendo elas a não correspondência, no que toca ao esperado, dos valores de volume de produção e/ou da quantidade de extrato de malte doseada. Por outras palavras, se porventura o volume final produzido não for ao encontro do valor considerado na fórmula de cálculo da correção de cor, então a dose outrora estimada não foi a correta e levará a desvios na cor final. Ademais, se a quantidade de extrato de malte incorporada não tiver sido a solicitada, quer por erros inerentes à própria fórmula de cálculo ou por erros no procedimento de correção de cor, a cor final também não corresponderá àquela que foi antes prevista.

Todavia, apesar dos desvios de cor poderem representar um forte indicador de uma eventual descalibração, estes têm de ser considerados de uma forma percentual em relação à amplitude dos intervalos de especificação da respetiva cerveja. Em tese, esta amplitude tende

a ser proporcional à cor pretendida em cada estilo de cerveja, ou seja, as cervejas mais claras têm um intervalo de especificação para cor com uma amplitude menor que as cervejas mais escuras. O fundamento desta lógica reside no facto de, na prática, a variação de cor em uma unidade EBC ter um impacto visual muito superior numa cerveja de cor clara do que numa cerveja de cor escura. Isto faz com que a mesma diferença, em EBC, entre os valores de cor da amostra de cerveja filtrada retirada do TCF e os respetivos valores de cor estimados pela fórmula de cálculo utilizada no procedimento de correção de cor, possa não ter o mesmo significado, estando este dependente da gama de cores associada a cada cerveja. Com isto, considerou-se que os desvios de cor percentuais deviam situar-se idealmente entre os -50,00% e os 50,00%, de forma a garantir que o desvio numérico não ultrapassa, negativamente ou positivamente, metade da amplitude do intervalo de especificação correspondente à cerveja em causa, pois, tal poderia significar que a cor final não estava conforme. Para esta última constatação, partiu-se do pressuposto que a cor alvo considerada na fórmula de cálculo do procedimento de correção de cor equivale, ou é muito próxima, ao valor médio da cor apontado pelo intervalo de especificação da respetiva cerveja, o que, na verdade, é uma prática comum.

Posto isto, estão definidos os principais critérios para a construção desta carta de controlo. Assim, para cada produção que envolva a correção de cor com extrato de malte, têm de ser recolhidos o valor de cor da amostra de cerveja filtrada retirada do TCF e o respetivo valor de cor previsto pela fórmula de cálculo, bem como o valor da amplitude do intervalo de especificação de cor da cerveja produzida. Além destes, a data de produção de cada cerveja também deve ser apontada para dar uma dimensão temporal à carta de controlo. No geral, estes dados, entre outros, são diariamente atualizados pelos operadores numa folha de registo em *Excel*, o que fez com que, por comodidade, esta carta de controlo fosse desenvolvida neste ficheiro. Contudo, para que esta ferramenta consiga ser atualizada de forma autónoma, foi apenas necessário acrescentar um espaço na folha de registo para indicação dos valores de cor estipulados pela fórmula de cálculo de correção de cor. Aqui, com intuito de simplificar, os valores de cor esperados das cervejas produzidas com correção de cor até à data da construção desta carta equivalem ao valor médio de cor do respetivo intervalo de especificação. A partir deste período, estes valores terão de ser inseridos manualmente pelos operadores à semelhança dos restantes dados presentes nesta folha de registo.

O resultado final do ficheiro de *Excel* com esta carta de controlo está mostrado na Figura 7.33. De notar que esta ferramenta está construída de uma forma dinâmica, permitindo

selecionar o número de dias, desde a data mais recente, a serem visualizados na carta de controlo. Neste exemplo, foram selecionados 119 dias, um período que reflete os dados de todas as produções de cerveja que sofreram correção de cor com extrato de malte desde o início de janeiro de 2023 até ao término do estágio presencial no final do mês de junho de 2023.

Em geral, neste intervalo de tempo, o equipamento parece estar sob controlo pois as medidas corretivas temporárias já haviam sido adotadas. Ainda assim, destacam-se alguns pontos com um desvio percentual bem exagerado, sendo que as respetivas causas foram de imediato analisadas. Em pormenor, dois destes pontos correspondem a produções de Bohemia Bock®, cuja problemática com o desajuste da fórmula de cálculo já foi abordada na secção 7.3.4.1.1 Ajuste da Fórmula de Cálculo da Quantidade de Extrato de Malte, e o outro corresponde a uma produção onde foi erradamente incorporada uma maior quantidade de extrato de malte que a solicitada. Além destes, outros dois pontos mostram também um desvio percentual ligeiramente acima do limite superior, sendo que nestas produções a justificação foi o doseamento não uniforme do extrato de malte, com uma grande parte desta matéria-prima a ser incorporada na fase final da produção. Isto faz com que a amostra de cerveja retirada logo após o enchimento do TCF não seja representativa da cor total do produto, apresentando um valor superior ao real.

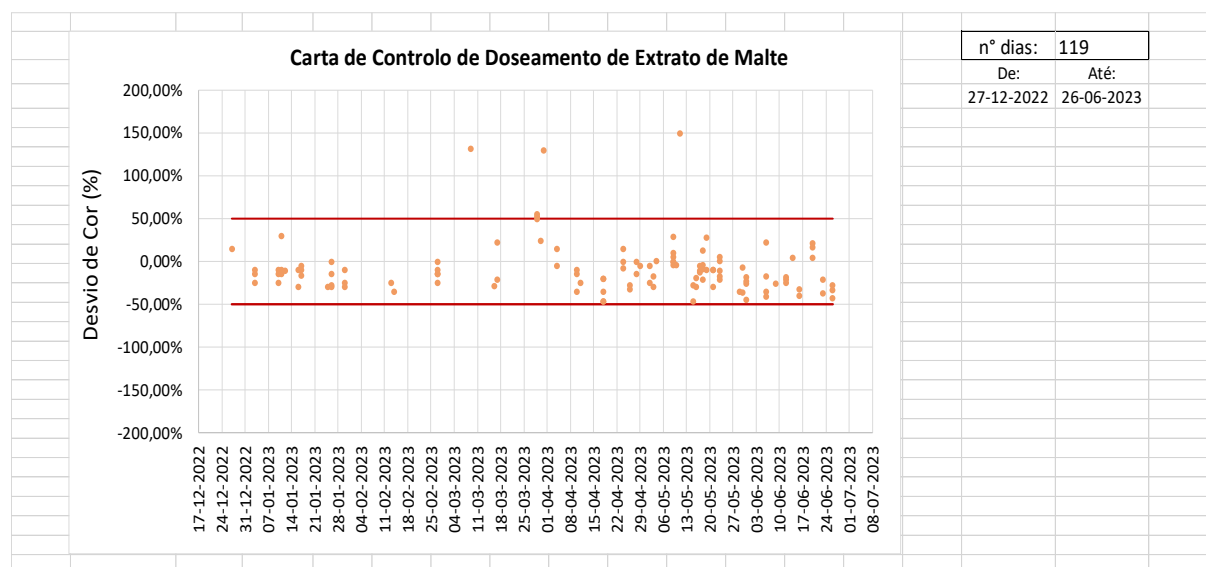


Figura 7.33 Representação do Excel com a carta de controlo elaborada para o equipamento de correção de cor com extrato de malte, estando selecionado o período desde janeiro de 2023 até junho de 2023.

Por forma a facilitar a visualização e posterior interpretação das estatísticas referentes a estes desvios de cor, este ficheiro de *Excel* foi, ainda, complementado com uma tabela que compreende a informação relativa ao último ano, contabilizando, de forma decrescente, alguns dados desde o mês atual até ao décimo primeiro mês anterior. Esta ferramenta está esquematizada na Figura 7.34 e, atualizando-se de forma automática, mostra, para cada mês, o número de produções que ocorreram com correção de cor com extrato de malte, as respetivas médias e desvios padrão dos desvios percentuais de cor, e o número de desvios percentuais que se revelaram acima ou abaixo, respetivamente, do limites superior e inferior estabelecidos.

Últimos 12 meses:												
	jun/2023	mai/2023	abr/2023	mar/2023	fev/2023	jan/2023	dez/2022	nov/2022	out/2022	set/2022	ago/2022	jul/2022
n° Produções com Correção de Cor	20	41	19	9	7	23	19	15	26	6	11	30
Média do Desvio de Cor (%)	-18,93%	-8,06%	-16,64%	46,27%	-17,86%	-15,68%	-15,03%	7,30%	8,23%	12,15%	7,82%	2,28%
Desvio Padrão do Desvio de Cor (%)	21,01%	30,37%	18,06%	56,70%	11,50%	13,16%	39,95%	29,61%	30,84%	56,84%	13,89%	26,14%
Desvios de Cor > Limite Superior	0	1	0	4	0	0	1	1	1	2	0	1
Desvios de Cor < Limite Inferior	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

Figura 7.34 Representação do *Excel* com a tabela que contempla os dados estatísticos referentes aos desvios de cor ao longo do último ano.

Com efeito, se o desvio de cor observado for superior a 50,00%, isto em relação à respetiva amplitude do intervalo de especificação, significa que a cor final da cerveja ficou muito próxima ou acima do LSE. Por outro lado, se este desvio for inferior a -50,00%, a cor desta bebida estará muito próxima ou abaixo do LIE. Desta forma, estes desvios são considerados problemáticos e constituem um alerta, devendo, de imediato, ser apuradas as devidas causas que podem ou não, como já realçado, estar relacionadas com a calibração do próprio equipamento.

7.4 Monitorização e Impacto das Ações de Melhoria

Após a concretização de todas as ações de melhoria já detalhadas, procedeu-se à atualização das pontuações das matrizes QM, visíveis na Tabela 7.9, de modo a entender o impacto imediato que as mesmas trouxeram para o controlo dos respetivos pontos Q.

Tabela 7.9 Atualização das pontuações totais das matrizes QM respectivas às ações de melhoria propostas para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes

FASE DO PROCESSO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS	MATRIZ QM	PONTUAÇÃO TOTAL	
				ANTES	DEPOIS
BRASSAGEM	Quantidade de Malte Carafa	Atualização da LUP de recolha e preparação das amostras de mosto quente para determinação de cor de modo a garantir a correta execução deste procedimento	QM Método	15	17
		+ Antecipação, no processo produtivo, da recolha da amostra para determinação de cor de forma a ser possível a eventual correção da quantidade de malte carafa com maior brevidade			
FILTRAÇÃO	Quantidade de Extrato de Malte	Revisão da fórmula de cálculo, que não está ajustada para situações de multiproduto	QM Método	15	19
	Procedimento de Adição de Extrato de Malte	Realização de LUPs para o procedimento de doseamento do extrato de malte, de forma a garantir a correta execução deste procedimento	QM Método	15	21
			QM Mão-de-Obra	19	21

Tabela 7.9 Atualização das pontuações totais das matrizes QM respetivas às ações de melhoria propostas para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes (Continuação).

FASE DO PROCESSO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS	MATRIZ QM	PONTUAÇÃO TOTAL	
				ANTES	DEPOIS
FILTRAÇÃO	Condição Básica da Balança do Equipamento de Correção de Cor	Cumprimento do plano de calibração para garantia do bom funcionamento da balança e da correta pesagem de extrato de malte +	QM Máquina	17	21
		Realização de uma carta de controlo para monitorizar eventuais descalibrações da balança	QM Medição	19	23
	Condição Básica do Caudalímetro do Equipamento de Correção de Cor	Cumprimento do plano de calibração para garantia do bom funcionamento do caudalímetro e do correto doseamento de extrato de malte +	QM Máquina	19	23
		Realização de uma carta de controlo para monitorizar eventuais descalibrações do caudalímetro	QM Medição	19	23
	Cor do Malte <i>Pilsen</i>	Ajuste do intervalo de especificação interno da cor do malte <i>Pilsen</i> de forma a alinhar as especificações teóricas com os valores reais	QM Material	15	15

Tabela 7.9 Atualização das pontuações totais das matrizes QM respetivas às ações de melhoria propostas para o parâmetro de qualidade da cor. A verde estão destacadas as pontuações de padrões excelentes, a amarelo as pontuações de padrões bons com oportunidades para melhorias adicionais, e a vermelho as pontuações de padrões com a necessidade de melhorias urgentes (Continuação).

FASE DO PROCESSO	PARÂMETRO DO EQUIPAMENTO / PROCESSO	AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS	MATRIZ QM	PONTUAÇÃO TOTAL	
				ANTES	DEPOIS
	Cor do Malte Carafa	Simplificação do método de determinação de cor do malte carafa para que seja possível iniciar os fabricos semanais seguintes deste malte com o valor de cor da semana anterior (atualização constante da amostra padrão)	QM Método	19	21
		Simplificação do método de determinação de cor do malte carafa para que seja possível iniciar os fabricos semanais seguintes deste malte com o valor de cor da semana anterior (atualização constante da amostra padrão) + Ajuste do intervalo de especificação interno da cor do malte carafa de forma a alinhar as especificações teóricas com os valores reais	QM Material	9	13
	Cor do Extrato de Malte	Consideração da cor dos diferentes lotes de extrato de malte na fórmula de cálculo da quantidade a dosear para minimizar o impacto desta variação no processo	QM Material	19	19

Após uma breve análise, nota-se que o sucesso das ações de melhoria desenvolvidas ao longo deste trabalho é confirmado com o aumento geral das pontuações das matrizes QM para os principais pontos Q críticos ao parâmetro de qualidade da cor, significando que os respectivos padrões foram efetivamente otimizados. Muitas vezes, inclusive, observa-se o aumento de nível do estado de alguns parâmetros até à excelência. Noutros casos, abaixo explicitados, a subida das pontuações não é tão evidenciada dado que não se conseguiram cumprir todos os possíveis critérios exigidos pelas respetivas matrizes QM.

Na Brassagem, para o ponto Q relativo à quantidade de malte carafa, as ações de melhoria desenvolvidas levam a uma melhor definição do método, mas não conseguem garantir a cadência da produção. De facto, apesar de se ter conseguido a antecipação de um fabrico para eventuais procedimentos de correção de cor do mosto, este não é suficiente para evitar a ocorrência de desvios de cor que impliquem a adoção das respetivas medidas corretivas. Este objetivo está mais alinhado com a ação de simplificação do método de determinação da cor do malte carafa, que visa a melhoria da homogeneidade deste atributo para que não seja necessário o ajuste constante da quantidade desta matéria-prima. Em relação ao parâmetro da cor do malte carafa, o desenvolvimento deste novo método permitiu a existência de um modo de controlo da cor de acessível execução que torna mais fácil a deteção da variação das especificações. Contudo, não é já possível avançar com conclusões acerca do impacto que esta ação terá sobre os índices de capacidade do processo e o número de não conformidades, cujos valores são uma exigência das matrizes para a categorização do estado do parâmetro. Aqui, o ajuste do intervalo de especificação da cor do malte carafa teve alguma influência, embora ínfima quando comparada com o objetivo teórico. Além disso, o processo não é robusto o suficiente para compensar eventuais desvios na cor deste tipo de malte, necessitando de um ajuste imediato na sua quantidade.

Já na Filtração, o parâmetro referente à quantidade de extrato de malte foi melhorado graças à adequação da fórmula de cálculo a situações de multiproduto, o que também resulta na otimização da cadência de produção. No entanto, caso ocorra um erro, as anomalias decorrentes só são notadas *à posteriori*, não existindo nenhum tipo de sistema que evite a ocorrência de falhas.

Além destas, ainda se verificam duas situações onde não se conseguiu potencializar as respetivas pontuações das matrizes QM. No caso da cor do malte *Pilsen*, as especificações desta matéria-prima não foram ajustadas com os valores reais por estas estarem internacionalmente fixadas pelo Grupo Heineken. Quanto à cor do extrato de malte, esta revela um Cpk abaixo do

pretendido, talvez por este material compreender uma larga amplitude de variação de cor. No entanto, como o extrato de malte é adquirido a um fornecedor externo, não se consegue ter uma ação direta sobre esta adversidade. Assim, de modo a compensar os eventuais desvios na cor desta matéria-prima, esta variável passou a ser contabilizada na fórmula de cálculo do procedimento de correção de cor da cerveja.

Apesar do alcance da excelência de alguns dos padrões dos pontos Q ter sido impedido por rígidas imposições das matrizes QM, vale notar que estas não prejudicaram que o real objetivo deste trabalho tenha sido concluído com sucesso. De facto, muitas das ações desenvolvidas contribuíram notavelmente para a redução de falhas de cor ao longo do processo de fabricação de cerveja, conseguindo-se, em paralelo, melhorar a estabilidade deste parâmetro de qualidade.

Outros casos de êxito da implementação da TPM em cervejeiras também relatam o auxílio desta metodologia no aumento da produtividade e na garantia da qualidade (Junior & Oliveira, 2017; Vrellas & Tsiotras, 2014). No entanto, a importância de uma cor conforme na cerveja vai muito além da cultura de melhoria contínua vivenciada nas indústrias e da constante necessidade em atenderem às suas especificações e padrões de qualidade para a afirmação do sucesso competitivo da própria marca.

Com efeito, fora do contexto industrial, o assegurar de uma cor uniforme e apelativa na cerveja é um aspeto bastante crucial, pois, trata-se de um dos principais indicadores visuais da qualidade desta bebida. Neste sentido, uma cerveja com uma cor convidativa pode aumentar a satisfação do consumidor e torná-la mais atraente, sugerindo que o produto foi produzido de acordo com os padrões e processos adequados. Pelo contrário, caso a cor de uma cerveja se revele irregular, esta bebida pode ser percebida como de baixa qualidade, levando à sua rejeição. Esta teoria é igualmente defendida por Betancur et al. (2020), Doorn et al. (2019) e Shellhammer & Bamforth (2008), que enaltecem a cor da cerveja como sendo um dos seus atributos fundamentais. Isto acontece porque, embora a cor não afete diretamente as restantes particularidades sensoriais da cerveja, esta parece influenciar a sua perceção. Estas constatações têm sido já amplamente estudadas por diversos autores, destacando-se os trabalhos realizados por Carvalho et al. (2017), Carvalho et al. (2019), Donadini et al. (2014), Donadini et al. (2016), Guinard et al. (1998), Smythe et al. (2002) e Spearot (2006), que demonstraram o impacto da cor da cerveja na perceção sensorial do seu amargor, adstringência, teor alcoólico, corpo e *flavour*.

Além de ser responsável pela primeira impressão visual da cerveja e de contribuir para a experiência sensorial do consumidor, a cor também se revela importante na identidade desta bebida. De facto, diferentes estilos de cerveja possuem características específicas quanto à sua cor, o que faz parte da diversidade e da apreciação da cultura cervejeira. Com isto, é, ainda, importante garantir uma cor uniforme para que esta bebida corresponda às expectativas dos consumidores mais rigorosos, tal como suportado nos estudos de Carvalho et al. (2017), Carvalho et al. (2019), Doorn et al. (2019) e Spearot (2006).

CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

A cor da cerveja é um dos parâmetros de qualidade com maior impacto na percepção e degustação desta bebida pelo consumidor. A garantia de uma cor uniforme e apelativa no produto final é conseguida pelo estabelecimento de intervalos de especificação que permitem controlar o processo produtivo quanto a este atributo sensorial. Todos os valores de cor que transcendam a tolerância definida pelos limites de especificação, são considerados uma falha e requerem a aplicação de medidas corretivas que asseguram a colocação no mercado de um produto de cor conforme. De facto, cada estilo de cerveja tem já uma gama de cores associada que deve ser integralmente cumprida para satisfazer as expectativas dos consumidores, que tendem a ser cada vez mais exigentes no que toca a atributos de qualidade dos géneros alimentícios.

No entanto, esta não é uma tarefa fácil dado que a cor final da cerveja depende de uma série de fatores ao longo de todo o seu processo de produção. De modo geral, a cor da cerveja deriva das misturas de cereais incorporados na sua receita, mas também é fortemente afetada pela ocorrência de reações de escurecimento não enzimático e de reações de oxidação de polifenóis, favorecidas em várias etapas da fabricação desta bebida.

Na SCC, a problemática em torno deste atributo de qualidade já havia sido detetada, dado tratar-se do segundo parâmetro de qualidade, de entre os dezoito rotineiramente analisados, que mais contribui para a totalidade das falhas detetadas. Se considerarmos a quantidade de falhas referentes ao número de amostras analisadas dentro de cada parâmetro, a cor ocupa o sexto lugar com quase um quinto das suas amostras a apresentarem defeito.

Neste universo, a grande maioria das falhas de cor foi detetada nas fases de Brassagem e Guarda, e uma minoria na Filtração. Aqui, os valores analisados são dados soltos, sendo difícil de estabelecer relações entre a cor de um mesmo fabrico ao longo de todo o processo produtivo. Este poderá ser um dos pontos de melhoria futura para a Empresa, que facilitará no apuramento de eventuais causas para a ocorrência de desvios nos mais diversos parâmetros de qualidade. Juntando as conclusões dos desdobramentos dos resultados de cor por fase do processo e por marca conseguiu-se identificar que os pontos que mais contribuem para a problemática das falhas de cor são as fases de Brassagem e Guarda das marcas Sagres® e Heineken®. No entanto, a fase de Filtração não foi ignorada pela importância que representa no FTR Cor, bem como pelo facto de contemplar um importante procedimento de correção de cor com a adição de extrato de malte.

Posto isto, o presente estudo pretendeu, não só, identificar os fatores com influência na cor da cerveja, como também sugerir possíveis melhorias inerentes ao processo de fabrico que possibilitem a redução do número de falhas de cor detetadas. Isto foi conseguido com a aplicação de diversas ferramentas TPM, particularmente referentes ao Passo 5 da Rota de GA&MP do Pilar da Fabricação de Cerveja. Destas, destacam-se a realização de uma matriz QX, que permitiu identificar os parâmetros do processo com influência direta sobre o parâmetro da cor, dos quais se destacaram cerca de 31. O nível de controlo destes pontos Q foi averiguado pela elaboração de matrizes QM que distinguiram as principais oportunidades de melhoria com a necessidade urgente de intervenção. Quanto a estas ferramentas, vale apontar que não estão devidamente adaptadas para modos de defeito relacionados com a qualidade, estando muito focadas na resolução de falhas de índole mecânica. Assim, apesar de úteis por permitirem a sistematização de conceitos, o seu verdadeiro potencial não foi alcançado. Ainda para mais, estas metodologias revelaram-se demasiado extensas e com a necessidade de alocação de variados recursos que, para a realidade de hoje em dia exigida pelas empresas em busca da rapidez de resultados, não é compatível.

Para todos os pontos Q com padrões instáveis foram sugeridas um total de 31 ações de melhoria, das quais apenas as passíveis de serem concretizadas, cerca de dez, seguiram rumo para este trabalho. Assim, este planeamento incidiu, em parte, sobre a problemática identificada da falta de homogeneidade da cor do malte carafa, que, por sua vez, leva à necessidade constante do ajuste da sua quantidade para o fabrico do mosto. Como tal, foi primeiramente atualizada a LUP de recolha e preparação das amostras de mosto quente para a determinação da cor de forma a padronizar este procedimento e as eventuais medidas

corretivas que dele advêm. Ainda foi testada, com sucesso, a possibilidade de antecipação da recolha desta amostra para que os procedimentos de correção de cor sejam acelerados, o que foi conseguido para uma amostra de mosto denso com a antecipação final em um fabrico. Isto permitiu uma diminuição teórica do número de falhas de cor de mosto de Sagres® em 19,19%.

Ademais, com vista a melhorar efetivamente a homogeneidade entre fabricos de malte carafa, foi ainda estudada a possibilidade de simplificação do método de determinação da cor desta matéria-prima para que seja possível a atualização constante do padrão que determina o cessar do processo de torrefação, fazendo com que o novo fabrico esteja a ser torrado para igualar a cor do fabrico imediatamente anterior. A obtenção destes resultados antes do início das produções semanais seguintes permite ainda eventuais ajustes no processo de torrefação caso este se revele ineficiente. Parte deste trabalho de melhoria foi desenvolvido com a malteria, uma associação que tem todo o sentido visto serem as duas partes interessadas do assunto que devem continuar a trabalhar em conjunto para a otimização dos resultados.

Em adição, foram também desenvolvidas ações de melhoria sobre a aparente falta de controlo da etapa de correção de cor com extrato de malte, isto devido à fraca operacionalidade do equipamento e ao desajuste da fórmula de cálculo para a quantidade a dosear deste produto. Com isto, foram elaboradas algumas LUPs com ênfase em alguns detalhes importantes do procedimento de doseamento de extrato de malte, foi agendada uma ação de calibração do equipamento de correção de cor cuja monitorização será acompanhada com uma carta de controlo também elaborada para o efeito, e foi revista a fórmula de cálculo para a adição desta matéria-prima. Esta última ação partiu da realização de uma Análise de 5 Porquês, outra das ferramentas sugeridas pela metodologia TPM.

Além destas, ainda foram analisadas as especificações de cor das várias amostras incluídas no plano de amostragem da SCC por forma a compreender se, de um modo geral, estavam em conformidade com os valores reais do processo. De facto, a ocorrência de alterações em alguns dos parâmetros produtivos da fabricação de cerveja pode ter um impacto significativo na cor, principalmente se tiverem efeito sobre os pontos Q identificados. Para a cor do malte carafa, e face à perda de cor que ocorre aquando do armazenamento deste tipo de malte, houve a necessidade de revisão do seu intervalo de especificação. Também se procedeu à análise dos dados de cor de Sagres® e Heineken®, com a necessidade de ajuste das especificações de mosto arrefecido de Heineken®, cerveja verde de Sagres®, e cerveja verde e maturada de Heineken®, tendo conseguido uma redução de falhas teóricas de -8,77%, 75,77% e 70,37%, respetivamente.

Mesmo após o desenvolvimento de todas estas ações de melhoria, os índices de capacidade do processo para a cor estão muito fracos, devendo ponderar-se a criação de uma equipa de melhoria contínua específica com esta finalidade, pois, trata-se de fatores com bastante relevância a nível industrial.

Ainda assim, é importante realçar que os objetivos deste trabalho foram atingidos com sucesso. Por um lado, foi possível identificar os fatores com influência na cor e, por outro lado, foram desenvolvidas diversas ações de melhoria que foram concluídas com êxito e mostraram claros sinais de melhoria quanto ao número de falhas de cor que delas advêm, inclusive já com um efeito visível no FTR Cor de 2023. Todas estas podem ser consideradas contributos efetivos à SCC, embora se consiga destacar o trabalho efetuado com o ajuste da fórmula de cálculo para o procedimento de correção de cor com extrato de malte visto que, esta ação, teve um impacto positivo imediato na cor das produções seguintes. Para que se consiga ter uma noção mais realista do impacto das restantes ações desenvolvidas, estas devem continuar a ser testadas pela Empresa, o que depende fortemente da motivação e empenho dos operadores para o efeito.

Em jeito de conclusão, vale destacar a importância deste trabalho como sendo o único a tornar-se publicado, à data, sobre a problemática da cor da cerveja, contendo várias estratégias de otimização deste parâmetro de qualidade. De facto, apesar de ser uma adversidade certamente transversal a todas as cervejeiras, estas não tendem a divulgar as atividades desenvolvidas pois, presume-se, optam por manter o seu processo produtivo sobre sigilo de forma a não conferir uma eventual vantagem à concorrência. No entanto, a metodologia de resolução dos diversos problemas encontrados a nível industrial acaba por ser algo muito particular de cada fábrica consoante as suas condições processuais e disponibilidade de recursos, tanto financeiros, técnicos e/ou humanos, pelo que não parece haver esse risco nesta partilha. Neste sentido, que esta dissertação sirva também de impulso e, sobretudo de apelo, para uma maior divulgação de trabalhos de índole científica desenvolvidos nos demais setores industriais.

BIBLIOGRAFIA

- Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2018). Total productive maintenance. *Total Quality Management & Business Excellence*. doi:10.1080/14783363.2018.1438843
- Ahuja, I. P. (2009). Total Productive Maintenance. Em M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, A. Raouf, J. Knezevic, & D. Ait-Kadi, *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (pp. 417-459). London: Springer. doi:10.1007/978-1-84882-472-0_17
- American Society of Brewing Chemists. (2002). Beer Color Using Tristimulus Analysis. *Journal of the American Society*, 60(4), 215-219. doi:10.1094/ASBCJ-60-0215
- American Society of Brewing Chemists. (2006). *Methods of Analysis: MOA Beer 10 C*. Saint Paul, Minnesota: ASBC.
- Anton Paar GmbH. (2021). *Beer Analysis Overview*. Obtido em 6 de junho de 2023, de <https://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=68006&L=0>
- Barnett, A., & Spence, C. (2016). Assessing the effect of changing a bottled beer label on taste ratings. *Nutrition and Food Technology: Open Access*, 2, 4. doi:10.16966/2470-6086.132
- Barth, R. (2013). Fermentation. Em R. Barth, *The Chemistry of Beer: The Science in the Suds* (pp. 160-175). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Barth, R. (2013). Water. Em R. Barth, *The Chemistry of Beer: The Science in the Suds* (pp. 68-87). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Betancur, M. I., Motoki, K., Spence, C., & Velasco, C. (2020). Factors influencing the choice of beer: A review. *Food Research International*, 137, 109367. doi:10.1016/j.foodres.2020.109367
- Billaud, C., Garcia, R., Kohler, B., Néron, S., Boivin, P., & Nicolas, J. (2000). Possible implications of four oxidoreductases (polyphenoloxidase, catalase, lipoxygenase, and peroxidase) present in brewery's barley and malt on organoleptic and rheological properties of mash and beer. *2nd European Symposium on Enzymes in Grain Processing* (pp. 247-250). Technical Research Centre of Filand.

- Bohm, W., Stegmann, R., Gulbis, O., & Henle, T. (2022). Amino acids and glycation compounds in hot trub formed during wort boiling. *European Food Research and Technology*, 249, 119-131. doi:10.1007/s00217-022-04138-0
- Burberg, F., & Zarnkow, M. (2009). Special Production Methods. Em H. M. Eßlinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 235-256). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Cabras, I., & Higgins, D. M. (2016). Beer, brewing and business history. *Business History*, 58(5), 609-624. doi:10.1080/00076791.2015.1122713
- Cadenas, R., Caballero, I., Nimubona, D., & Blanco, C. A. (2021). Brewing with Starchy Adjuncts: Its Influence on the Sensory and Nutricional Properties of Beer. *Foods*, 10, 1726. doi:10.3390/foods10081726
- Cai, S., Han, Z., Huang, Y., Chen, Z. H., Zhang, G., & Dai, F. (2015). Genetic diversity of individual phenolic acids in barley and their correlation with barley malt quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(31), 7051-7057. doi:10.1021/acs.jafc.5b02960
- Carvalho, F. R., Dakduk, S., Wagemans, J., & Spence, C. (2019). Dark vs. light drinks: The influence of visual appearance on the consumer's experience of beer. *Food Quality and Preference*, 74, 21-29. doi:10.1016/j.foodqual.2019.01.001
- Carvalho, F. R., Moors, P., Wagemans, J., & Spence, C. (2017). The influence of color on the consumer's experience of beer. *Frontiers in Psychology*, 8, 2205. doi:10.3389/fpsyg.2017.02205
- Coghe, S., Derdelinckx, G., & Delvaux, F. R. (2004). Effect of non-enzymatic browning on flavour; colour and antioxidative activity of dark specialty malts - A review. *Monatsschrift für Brauwissenschaft*, 57, 25-38.
- Comité de Cevada e Malte. (2022). *Boletim da Cevada*. Cervejeiros de Portugal. Obtido em 1 de maio de 2023, de <https://www.cervejeirosdeportugal.pt/boletim-da-cevada/>
- Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2006). Phenols, Polyphenols and Tannins: An Overview. Em A. Crozier, M. N. Clifford, & H. Ashihara, *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet* (pp. 1-26). Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Dale, B. G. (2003). *Managing Quality* (4th ed.). Malden, USA: Blackwell Publishing Ltd.
- Davies, N. (2016). Malts. Em C. W. Bamforth, *Brewing Materials and Processes* (pp. 1-25). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.

- Decreto-Lei n.º 69/2023, de 21 de agosto que estabelece o regime jurídico da qualidade da água destinada ao consumo humano. *Diário da República* n.º 161/2023, Série I. Presidência do Conselho de Ministros.
- Decreto-Lei n.º 474/75, de 30 de agosto que nacionaliza a indústria cervejeira. *Diário do Governo* n.º 200/1975, Série I. Ministério da Indústria e Tecnologia.
- Decreto-Lei n.º 531/77, de 30 de dezembro que cria as empresas públicas União Cervejeira, E. P., abreviadamente designada por Unicer, e Central de Cervejas, E. P., abreviadamente designada por Centralcer, e aprova os seus estatutos. *Diário da República* n.º 301/1977, Série I. Ministérios do Plano e Coordenação Económica, das Finanças e da Indústria e Tecnologia.
- Donadini, G., Fumi, M. D., & Newby-Clark, I. R. (2014). Consumers' preference and sensory profile of bottom fermented red beers of the Italian market. *Food Research International*, 58, 69-80. doi:10.1016/j.foodres.2014.01.048
- Donadini, G., Fumi, M. D., Kordialik-Bogocka, E., Maggi, L., Lambri, M., & Sckokai, P. (2016). Consumer interest in specialty beers in three European markets. *Food Research International*, 85, 301-314. doi:10.1016/j.foodres.2016.04.029
- Doorn, G. V., Timora, J., Watson, S., Moore, C., & Spence, C. (2019). The visual appearance of beer: A review concerning visually-determined expectations and their consequences for perception. *Food Research International*, 126, 108661. doi:10.1016/j.foodres.2019.108661
- Duarte, J. B., & Brinca, P. (2021). *Avaliação de Impactos Macroeconómicos do Setor Cervejeiro*. Nova School of Business & Economics.
- Duret, D., & Pillet, M. (2009). *Qualidade na Produção: da ISO 9000 aos Seis Sigma*. Lidel.
- EBC Analytica. (2000). 9.6 - Colour of Beer: Spectrophotometric Method (IM).
- Esslinger, H. M. (2009). Fermentation, Maturation and Storage. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 207-224). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Esslinger, H. M., & Narziss, L. (2005). Beer. Em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Company KGaA. doi:10.1002/14356007.a03_421
- Europe Economics. (2022). *Economic Report to assess the impact of Covid-19 on the Brewing Sector in Europe in 2020-21*.
- Eurostat. (2022). Beer Production Increased in 2021. Obtido em 19 de março de 2023, de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220830-1>

- Ferreira, I. M., & Guido, L. F. (2018). Impact of Wort Amino Acids on Beer Flavour: A Review. *Fermentation*, 4(2), 23. doi:10.3390/fermentation4020023
- Gouvinhas, I., Breda, C., & Barros, A. I. (2021). Characterization and Discrimination of Commercial Portuguese Beers Based on Phenolic Composition and Antioxidant Capacity. *Foods*, 10, 1144. doi:10.3390/foods10051144
- Gresser, A. (2009). Properties and Quality. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 359-397). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Guinard, J., Souchart, A., Picot, M., Rogeaux, M., & Siefferman, J. (1998). Sensory determinants on the thirst quenching character of beer. *Appetite*, 31(1), 101-115. doi:10.1006/appe.1998.0165
- Heineken. (2018 a). *AM Brewing Pilar*.
- Heineken. (2018 b). *Rota Equipa GA&MP - Manual Passo 5*.
- Heineken. (s.d. a). *A Nossa História*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.heineken.com/pt/pt/historia>
- Heineken. (s.d. b). *Os Nossos Produtos*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.heineken.com/pt/pt/os-nossos-produtos/heineken-original>
- Heineken. (s.d. c). *Patrocinios*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.heineken.com/pt/pt/patrocinios>
- Hellwig, M., & Henle, T. (2020). Maillard Reaction Products in Different Types of Brewing Malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(48), 14274-14285. doi:10.1021/acs.jafc.0c06193
- Hellwig, M., Beer, F., Witte, S., & Henle, T. (2018). Yeast Metabolites of Glycated Amino Acids in Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 7451-7460. doi:10.1021/acs.jafc.8b01329
- Hellwig, M., Witte, S., & Henle, T. (2016). Free and Protein-Bound Maillard Reaction Products in Beer: Method Development and a Survey of Different Beer Types. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(38), 7234-7243. doi:10.1021/acs.jafc.6b02649
- Humia, B. V., Santos, K. S., Barbosa, A. M., Sawata, M., Mendonça, M. C., & Padilha, F. F. (2019). Beer Molecules and Its Sensory and Biological Properties: A Review. *Molecules*, 24(8), 1568. doi:10.3390/molecules24081568
- Humia, B. V., Santos, K. S., Barbosa, A. M., Sawata, M., Mendonça, M. C., & Padilha, F. F. (2019). Beer Molecules and Its Sensory and Biological Properties: A Review. *Molecules*, 24, 1568. doi:10.3390/molecules24081568
- International Organisation of Vine and Wine. (2022). *State of the World Vine and Wine Sector 2021*.

- Ives, M. (Produtor). (2011). *How Beer Saved the World*. Estados Unidos da América: Beyond Productions.
- Jaskula-Goiris, B., Goiris, K., Syryn, E., Opstaele, F. V., De Rouck, G., Aerts, G., & De Cooman, L. (2014). The Use of Hop Polyphenols During Brewing to Improve Flavor Quality and Stability of Pilsner Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 72(3), 175-183. doi:10.1094/ASBCJ-2014-0616-01
- Jornal de Negócios. (25 de junho de 2003). Scottish & Newcastle conclui aquisição da Centralcer. Obtido de https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/scottish__newcastle_conclui_aquisicao_da_centralcer
- Jornal de Negócios. (25 de janeiro de 2008). Scottish & Newcastle aceita oferta de compra da Carlsberg e da Heineken. Obtido de https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/scottish__newcastle_aceita_oferta_de_compra_da_carlsberg_e_da_heineken
- Jornal de Negócios. (5 de agosto de 2019). Dona da água do Luso compra a Água Castello. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/comercio/detalhe/dona-da-agua-do-luso-compra-a-agua-castello>
- Junior, A. N., & Oliveira, M.C. (2017). The impact of the implementation of the quality management system on organisational performance: an action research in a Brazilian brewing manufacture. *Total Quality Management & Business Excellence*. doi:10.1080/14783363.2017.1417735
- Kalloniatis, M., & Luu, C. (2005). The Perception of Color. Em H. Kolb, E. Fernandez, & R. Nelson, *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*. Salt Lake, Utah: University of Utah Health Sciences Center.
- Kedar, A. P., Lakhe, R. R., Deshpande, V. S., Washimkar, P. V., & Wakhare, M. V. (2008). A comparative review of TQM, TPM and related organisational performance improvement programs. *1st International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET*, (pp. 725-730). doi:10.1109/ICETET.2008.133
- Koren, D., Vecseri, B. H., Kun-Farkas, G., Urbin, A., Nyitrai, A., & Sipos, L. (2020). How to objectively determine the color of beer? *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1183-1189. doi:10.1007/s13197-020-04237-4
- Kreisz, S. (2009). Malting. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 147-157). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

- Krottenthaler, M. (2009). Hops. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 85-101). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Krottenthaler, M., Back, W., & Zarnhow, M. (2009). Wort Production. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 165-205). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Lange, A. J. (2016). Color. Em C. W. Bamforth, *Brewing Materials and Processes. A Practical Approach to Beer Excellence* (pp. 199-249). Cambridge, Massachusetts: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-799954-8.00011-3
- Lerro, M., Marotta, G., & Nazzaro, C. (2020). Measuring consumers' preferences for craft beer attributes through Best-Worst Scaling. *Agricultural and Food Economics*, 8, 1. doi:10.1186/s40100-019-0138-4
- Lindemann, B. (2009). Filtration and Stabilization. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 225-234). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Martinez-Gomez, A., Caballero, I., & Blanco, C. A. (2020). Phenols and Melanoidins as Natural Antioxidants in Beer. Structure, Reactivity and Antioxidant Activity. *Biomolecules*, 10(3), 400. doi:10.3390/biom10030400
- Menis-Henrique, M. (2020). Methodologies to Advance the Understanding of Flavor. *Current Opinion in Food Science*, 33, 131-135. doi:10.1016/j.cofs.2020.04.005
- Meussdoerffer, F. G. (2009). A Comprehensive History of Beer Brewing. Em H. M. Esslinger (Ed.), *Handbook of Brewing: Process, Technology, Markets*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Company KGaA.
- Morris, R. (2015). Spectrophotometry. Em S. R. Gallanger, & E. A. Wiley, *Current Protocols Essential Laboratory Techniques* (pp. 2.1.1 - 2.1.30). John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9780470089941.et0201s11
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Portland: Productivity Press, Inc.
- Okpala, C. C., Anozie, S. C., & Ezeanyim, O. C. (2018). The Application of Tools and Techniques of Total Productive Maintenance in Manufacturing. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 8(6), 18115-18121.
- Oliver, G. (2011). *The Oxford Companion to Beer*. New York, USA: Oxford University Press. doi:10.1093/acref/9780195367133.001.0001
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Preventing Harmful Alcohol Use*. OECD Health Policy Studies. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/2074319x
- Peri, C. (2006). The universe of food quality. *Food Quality and Preference*, 17, 3-8. doi:10.1016/j.foodqual.2005.03.002

- Petrescu, D. C., Vermeir, I., & Petrescu-Mag, R. M. (2020). Consumer Understanding of Food Quality, Healthiness, and Environmental Impact: A Cross-National Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 169. doi:10.3390/ijerph17010169
- Portaria n.º 91/2022, de 9 de fevereiro, que estabelece as características, regras de produção e de comercialização de cerveja, adequando a legislação nacional às normas europeias. *Diário da República n.º 28/2022, Série I*. Ministérios da Economia e Transição Digital e Agricultura.
- PureMalt. (2022). *RB1500/45 Product Specification*.
- Rainhofer, L., Zarnow, M., Gastl, M., & Hutzler, M. (2022). A short history of beer brewing. *EMBO Reports*(23), e56355. doi:10.15252/embr.202256355
- Regulamento n.º 133/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativo aos aditivos alimentares. *Jornal Oficial da União Europeia L 354*.
- Roberts, T. R. (2016). Hops. Em C. W. Bamforth, *Brewing Materials and Processes* (pp. 47-75). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- RTP Arquivos. (22 de junho de 1968). *Américo Tomás inaugura fábrica de cerveja*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://arquivos.rtp.pt/conteudos/americo-tomas-inaugura-fabrica-de-cerveja/>
- RTP Arquivos. (7 de novembro de 1990). *Privatização da Centralcer*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://arquivos.rtp.pt/conteudos/privatizacao-da-centralcer/>
- Russell, I. (2016). Yeast. Em C. W. Bamforth, *Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence* (pp. 77-94). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Sagres. (s.d. a). *História Cerveja Sagres*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.cervejasagres.pt/pt/historia/>
- Sagres. (s.d. b). *História Garrafas Sagres*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.cervejasagres.pt/pt/cervejas/#original>
- Sagres. (s.d. c). *Cervejas*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.cervejasagres.pt/pt/cervejas/#original>
- Shellhammer, T. H. (2009). Beer color. Em C. W. Bamforth, *Beer: A Quality Perspective* (pp. 213-227). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Shellhammer, T. H., & Bamforth, C. W. (2008). Assessing Color Quality of Beer. Em C. Culver, & R. E. Wrolstad, *Color Quality of Fresh and Processed Foods* (pp. 192-202). Washington DC: ACS Symposium Series, American Chemical Society.

- Smythe, J. E., O'Mahony, M. A., & Bamforth, C. W. (2002). The impact of the appearance of beer on its perception. *Journal of The Institute of Brewing*, 108(1), 37-42. doi:10.1002/j.2050-0416.2002.tb00120.x
- Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. (2017). *Fabricação de Malte e Cerveja*. Academia da Cerveja.
- Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. (s.d. a). *A Nossa História*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.centralcervejas.pt/pt/sobre-nos/a-nossa-historia/>
- Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. (s.d. b). *Os Nossos Compromissos*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.centralcervejas.pt/pt/sustentabilidade/os-nossos-compromissos/>
- Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. (s.d. c). *As Nossas Marcas*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.centralcervejas.pt/pt/marcas/>
- Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. (s.d. d). *Certificações*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://www.centralcervejas.pt/pt/sobre-nos/certificacoes/>
- Spearot, J. W. (2016). *Influence of beer colour on perceprion of bitterness*. Dissertação de Mestrado, Drexel University, Pennsylvania, USA.
- Spence, C. (2015). On the psychological impact of food colour. *Flavour*, 4, 21. doi:10.1186/s13411-015-0031-3
- Spence, C. (2018). Background colour & its impact on food perception & behaviour. *Food Quality and Preference*, 68, 156-166. doi:10.1016/j.foodqual.2018.02.012
- Statista. (2022). *Global Beer Market*.
- Statista. (2023). *Beer Report*. Statista Consumer Market Outlook - Segment Report.
- Stewart, G. (2016). Adjuncts. Em C. W. Bamforth, *Brewing Materials and Processes* (pp. 27-46). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.
- Strong, G., & England, K. (2021). *Beer Style Guidelines*. St. Louis Park : Beer Judge Certification Program. Obtido em 1 de maio de 2023
- Taylor, D. G. (2018). Water. Em G. G. Stewart, I. Russel, & A. Anstruther, *Handbook of Brewing* (pp. 70-90). Boca Ratón, Florida: Taylor & Francis Group.
- Tenge, C. (2009). Yeast. Em H. M. Esslinger, *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets* (pp. 119-142). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Termas Luso. (s.d.). *História*. Obtido em 1 de fevereiro de 2023, de <https://termasdeluso.pt/historia/>
- The Brewers of Europe. (2022). *European Beer Trends, Statistics Report 2022 Edition*. The Brewers of Europe, Brussels.

- Vrellas, C. G.; & Tsiotras, G. D. (2014). Operational Excellence in the Greek Brewing Industry. *Global Business and Organizational Excellence*, 33(2), 31-38. doi:10.1002/joe.21531.
- Wannenmacher, J., Gastl, M., & Becker, T. (2018). Phenolic Substances in Beer: Structural Diversity, Reactive Potential and Relevance for Brewing Process and Beer Quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 953-988. doi:10.1111/1541-4337.12352
- Wojciechowski, A. (2018). Methodology for determining machine quality points. Case Study. *Research in Logistics & Production*, 8(3), 263-274. doi:10.21008/j.2083-4950.2018.8.3.6
- Zhao, H., Chen, W., Lu, J., & Zhao, M. (2010). Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers. *Food Chemistry*, 119(3), 1150-1158. doi:10.1016/j.foodchem.2009.08.028

APÊNDICES

A	APÊNDICES	213
A.1	Fluxograma do Processo Cervejeiro na SCC	214
A.2	Matriz QX	217

A.1 Fluxograma do Processo Cervejeiro na SCC

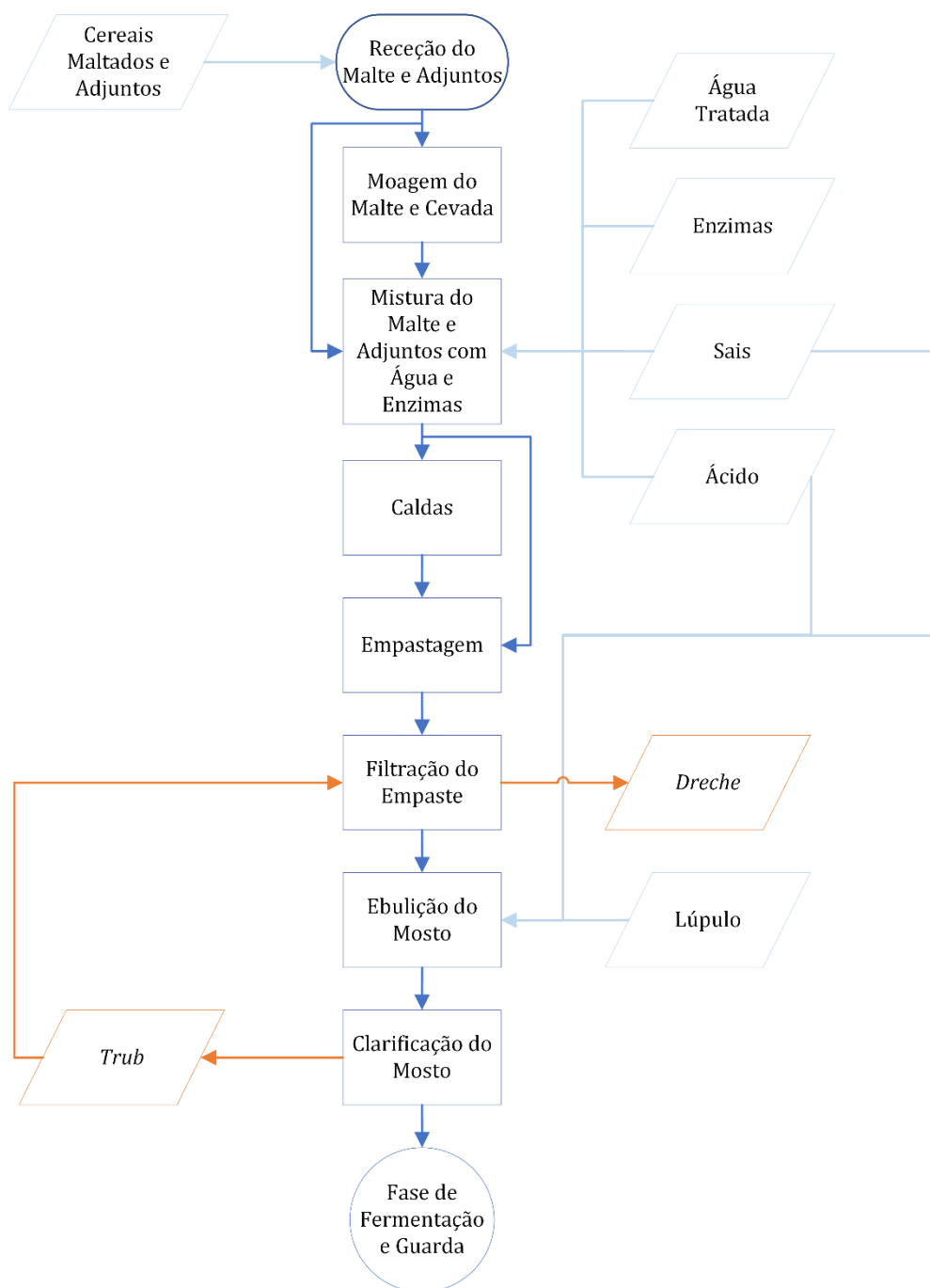


Figura A.1 Fluxograma do processo cervejeiro seguido na SCC, dividido nas três principais fases que o caracterizam: brassagem, fermentação e guarda, e filtração. A azul escuro estão caracterizadas as várias etapas do processo produtivo, a azul claro estão representadas as matérias-primas e a laranja estão indicados os principais subprodutos gerados.

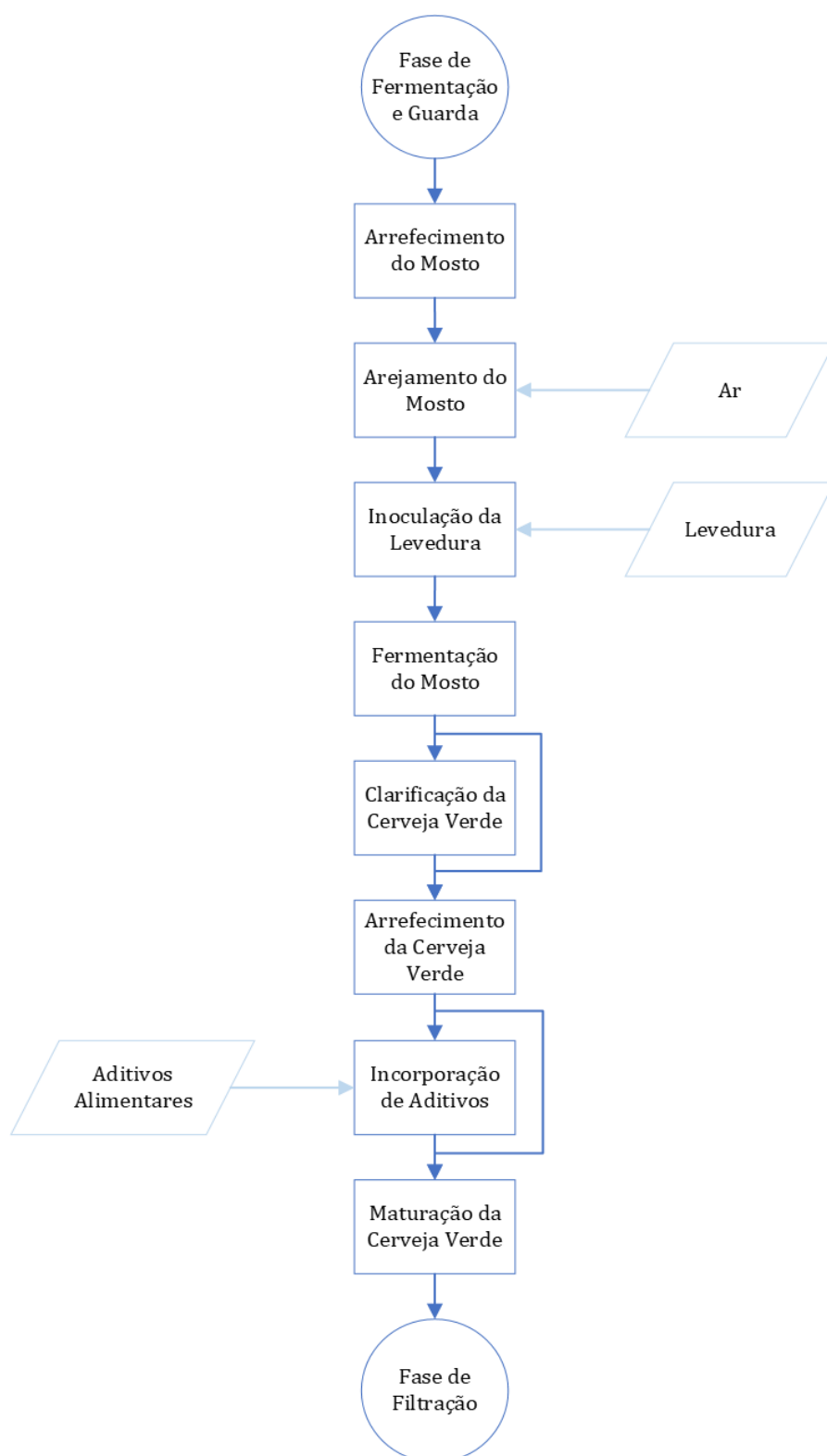


Figura A.1 Fluxograma do processo cervejeiro seguido na SCC, dividido nas três principais fases que o caracterizam: brassagem, fermentação e guarda, e filtração. A azul escuro estão caracterizadas as várias etapas do processo produtivo, a azul claro estão representadas as matérias-primas e a laranja estão indicados os principais subprodutos gerados (Continuação).

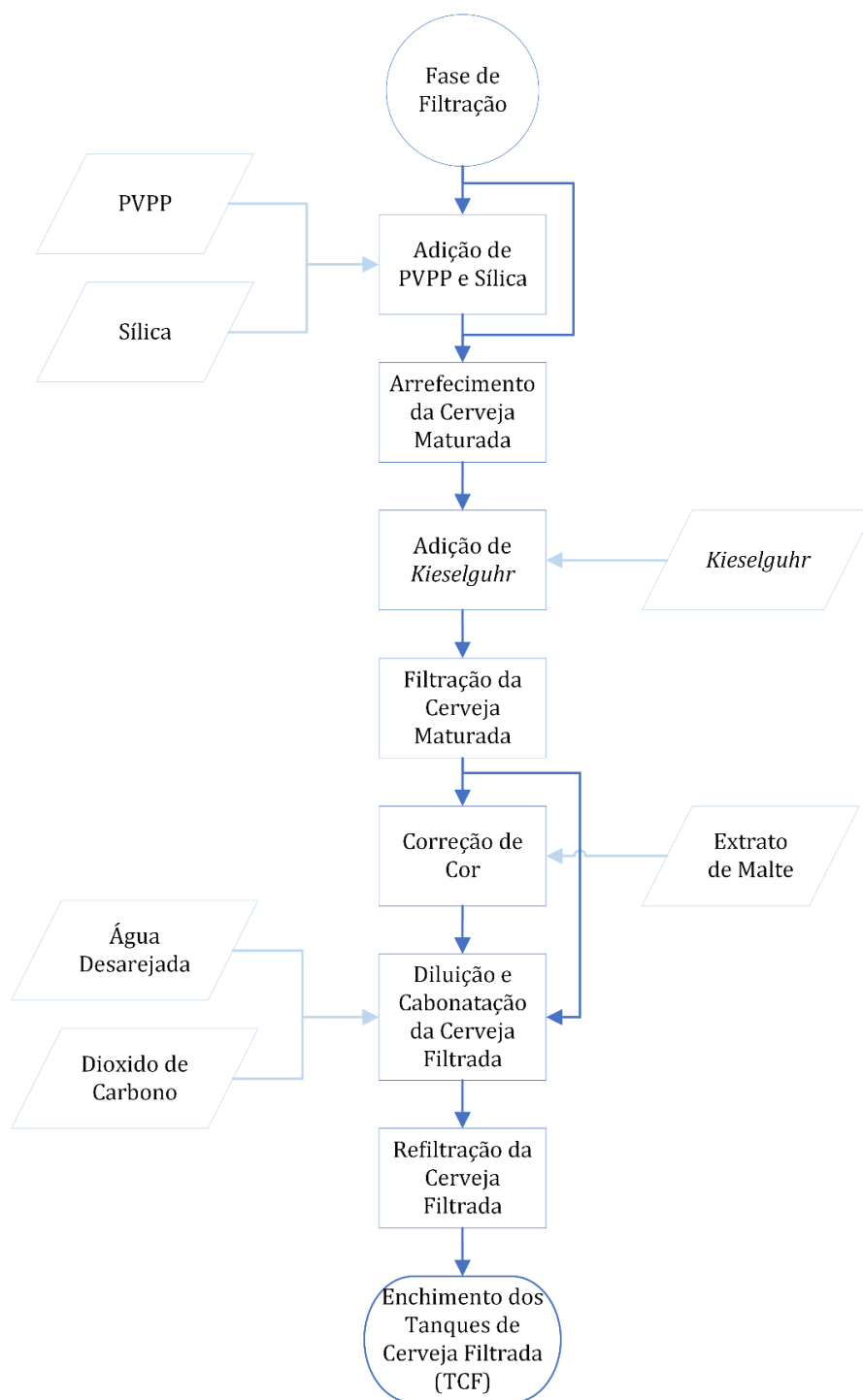


Figura A.1 Fluxograma do processo cervejeiro seguido na SCC, dividido nas três principais fases que o caracterizam: brassagem, fermentação e guarda, e filtração. A azul escuro estão caracterizadas as várias etapas do processo produtivo, a azul claro estão representadas as matérias-primas e a laranja estão indicados os principais subprodutos gerados (Continuação).

A.2 Matriz QX

Figura A.2 Matriz QX completa, em escala reduzida, para os para os modos de defeito "cor baixa" e "cor alta". A verde estão assinalados os pontos Q selecionados e respetivas associações com os equipamentos e seus componentes e as fases do processo.



2023

INÊS MATIAS

REDUÇÃO DE FALHAS DE COR NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA