

Otimização da fase de arrefecimento do mosto

Pedro Miguel Gomes Correia

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Biológica

Orientadores:

Eng.^a Maria Beatriz Azevedo da Cunha Teixeira; Prof.^a Marília Clemente Velez
Mateus

Júri

Presidente: Prof.^a Maria Ângela Cabral Garcia Taipa Meneses de Oliveira

Orientador: Eng.^a Maria Beatriz Azevedo da Cunha Teixeira

Vogal: Prof. Luís Joaquim Pina da Fonseca

Novembro 2018

Agradecimentos

Assim finda aquela que foi talvez a etapa mais importante da minha vida pessoal e académica. Nestes últimos 6 anos, foram muitas as lutas travadas diariamente perante os inúmeros desafios que se interpuseram no meu percurso, as horas passadas a resolvê-los e os múltiplos esforços que se uniram de modo a que nesta etapa final tudo seja reconhecido como um final feliz.

O primeiro agradecimento é dirigido à Eng.^a Maria Beatriz Teixeira, pelo acompanhamento e orientação que nunca estiveram em falta, e pela confiança depositada em mim para o estudo da temática escolhida, dando-me total autonomia para o trabalho que realizei. Não poderia ter tido maior sorte por ter sido orientado por uma pessoa tão sábia, competente e motivadora.

Um agradecimento especial também à Prof.^a Marília Mateus, por toda a orientação no processo de procura de estágio e no acompanhamento regular do progresso do mesmo, como na revisão e correção da presente tese.

Também quero deixar um especial agradecimento ao Eng.^o João Paulo Mendes, por todo o conhecimento transmitido e por ter confiado em mim para diversos projetos na SCC.

Às equipas das Adegas e da Brassagem por terem sido sempre prestáveis e disponíveis para ajudar nos projetos em que trabalhei, e pela prontidão e exatidão do seu trabalho, que permitiu que o meu trabalho fosse realizado de uma forma sintética e sucinta.

Um obrigado aos meus colegas de trabalho Jéssica Mesquita, Pedro Almeida e Luís Daniel Marques por todas as horas de almoço e todos os momentos de decompressão e amizade que tornaram esta jornada ainda mais emocionante.

Queria também agradecer aos meus amigos, por todas as palavras nos momentos mais difíceis que passei nos últimos anos, e por terem estado sempre presentes em todos os momentos mais importantes da minha vida. Pela vossa sinceridade, companhia e verdadeira amizade, muito obrigado.

O meu maior agradecimento não poderia deixar de ser direcionado à minha família, em especial à mãe Irina, ao pai Luís, ao mano Santiago, à avó Rosa e ao avô Zito. Obrigado por todo o apoio e carinho, e por todos os difíceis sacrifícios que fizeram para estar onde hoje estou. Vocês são as pessoas mais importantes da minha vida e esta tese é para vocês.

Por último queria agradecer-te a ti, Marta, por tudo. O caminho sempre foi árduo, com muitos obstáculos, mas nos pequenos momentos não havia maior felicidade do que aquela que vivemos. Por tudo o que passaste ao meu lado, e por de certa forma me teres deixado fazer parte da tua vida, pela eletricidade, um gigante e eterno obrigado.

Resumo

A otimização da linha de arrefecimento do mosto tem como objetivo a melhoria da eficácia das condições de arrefecimento, nomeadamente ao nível do arejamento, cor e quebra de extrato. Estes fatores têm impacto significativo num dos processos mais cruciais da fabricação de cerveja - a fermentação. Como consequência, esta otimização gera impacto na qualidade final do produto, para que seja garantida a oferta deste com características que satisfaçam as exigências do consumidor.

Com a realização desta tese, procurou-se estudar o funcionamento da linha de arrefecimento do mosto, e intervir no sentido de eliminar os modos de falha de indicadores prioritários da SCC.

Foram realizados três estudos em paralelo: otimização do O₂ dissolvido no mosto onde a reparação da condição básica e a mudança de set-points contribuíram para o aumento do rendimento da levedura de fermentação e de propagação; otimização da medição da cor do mosto através da reposição do correto funcionamento dos medidores e análise de desvios e, por último, estudo da quebra de extrato através da caracterização da linha e modos de falha.

Através da redução do arejamento do mosto, conseguiram obter-se níveis de O₂ dissolvido dentro de especificação, traduzidos numa melhoria qualitativa do desempenho da levedura. Também o aumento do arejamento na propagação contribuiu para uma levedura mais consistente, capaz de fermentações mais eficientes. Ao nível da cor, os resultados obtidos no laboratório e *inline* foram aproximados, e foram eliminadas e/ou justificadas com sucesso as leituras inesperadas que eram observadas durante a fermentação.

Palavras-chave: Arrefecimento do Mosto, Quebra, Cor, Arejamento, Kaizen.

Abstract

The optimization of the wort cooling line aims to improve the efficiency of the cooling conditions, namely in terms of aeration, color and extract loss. These factors have a significant impact on one of the most crucial brewing processes - fermentation. Therefore, this optimization has an impact on the final quality of the product, so that the product's offer is guaranteed with characteristics that fulfils the consumer's requirements.

This thesis' objective was to study the operation of the cooling line of the wort, and to intervene to eliminate the failure causes of SCC priority indicators.

Three parallel studies were carried out: optimization of dissolved O₂ in the wort where restoring the basic condition of the equipment and changing set-points contributed to the increase of yeast yield of fermentation and propagation; optimization of the color measurement of the wort by restoring the correct functioning of the sensors and analysis of deviations, and, finally, study of the extract loss through characterization of the line and failure modes.

By reducing the wort aeration, levels of dissolved O₂ within specification were achieved, resulting in a qualitative improvement of yeast performance. Also, the increased aeration in the propagation contributed to a more consistent yeast, capable of more efficient fermentations. At color level, laboratory and inline results were approximated, and unexpected readings that were observed during fermentation were successfully eliminated and/or justified.

Key words: Wort Cooling, Extract Loss, Color, Aeration, Kaizen.

Índice

1. Enquadramento	1
1.1 Descrição da Companhia	1
1.2 Fabricação de cerveja em Vialonga	3
1.2.1. Sistema de arejamento em Vialonga	5
1.3 TPM – Total Productive Management.....	7
1.3.1 TPM <i>Next</i>	8
1.3.2 Ferramentas Auxiliares ao TPM.....	9
2. Trabalho Prático	12
2.1. Arejamento do Mosto	12
2.1.1. Trabalho prévio.....	14
2.1.2. Lançamento da equipa	20
2.1.3 Casos analisados	20
2.2. Cor	29
2.2.1. Trabalho prévio.....	33
2.2.2. Lançamento da equipa	35
2.2.3. Casos analisados	35
2.3. Quebra de Extrato	47
2.3.1. Trabalho prévio.....	48
2.3.2. Lançamento da equipa / Plano de Ação	49
3. CONCLUSÃO.....	53
Bibliografia	55
Anexos.....	58
Anexo I – LUP calibração dos sensores de arejamento	58
Anexo II – Matriz QM.....	59

Índice de figuras

Figura 1 - Evolução da garrafa Sagres	2
Figura 2 - Portefólio de bebidas fabricadas e/ou distribuídas pela Sociedade Central de Cervejas e Bebidas	2
Figura 3 - Processo de fabricação do malte e da cerveja.....	5
Figura 4 – Representação dos circuitos de circulação do mosto.	6
Figura 5 - Atividades dos pilares do TPM	8
Figura 6 – Demonstração dos 8 pilares do TPM e dos 7 pilares base do TPM Ne	9
Figura 7 - Demonstração dos pilares transversais do TPM Next.....	9
Figura 8 - Estrutura da membrana celular de leveduras; Fases de crescimento de uma levedura	12
Figura 9 - Gráfico de prioridades definidas pelo pilar da Qualidade para 2018 na SCC	15
Figura 10 - Desmembramento do FTR Beer Production para o ano 2018.....	15
Figura 11 - Quantidade de O ₂ incorporado na linha de mosto durante a inserção de cada fabrico no fermentador.	16
Figura 12 - Quantidade de O ₂ dissolvido no mosto durante a inserção de cada fabrico no fermentador, após otimização.....	17
Figura 13 - Resultados dos ensaios de arejamento realizados com diferentes injeções de ar.....	18
Figura 14 - Etapa de arrefecimento do mosto exemplificada no Brewmaxx, destacando-se os dois sensores.	19
Figura 15 - Exemplo de um report gerado pelo brewmaxx para o arejamento do mosto.....	19
Figura 16 - Níveis de O ₂ dissolvido no mosto que circula por cima (16A) e por baixo (16B).	21
Figura 17 -Representação do histórico de dados do arejamento.	22
Figura 18 – Resultados de taxa de multiplicação que se registavam com a fórmula de cálculo antiga, usando o valor médio de massa de levedura inoculada.	23
Figura 19 - Resultados de taxa de multiplicação que se registavam com a nova fórmula de cálculo, usando o valor real de massa de levedura inoculada por fermentador.	24
Figura 20 – Testes com set-points de arejamento diferente para o circuito de cima.	25
Figura 21 - Testes com set-points de arejamento diferente para o circuito de baixo: realização de padrão com arejamento imposto por standard (azul); teste 1 (cinza) e teste 2 (laranja), ambos com set-points diferentes aplicados.....	25
Figura 22 – Valores de transmitância dos diferentes estilos de cerveja (american lager, amber ale, porter, stout) em função do comprimento de onda.	30
Figura 23 - Valores de absorvância dos diferentes estilos de cerveja (american lager, amber ale, porter, stout) em função do comprimento de onda.	30
Figura 24 – Escala de cor EBC.	32
Figura 25 – Instalação do medidor ótico de cor na linha de arrefecimento do mosto na SCC.....	32
Figura 26 - Plano de transição de controlo do produto para controlo do processo delineado pelo pilar da qualidade da SCC, dividido em 5 fases.	34
Figura 27 – Demonstração das três linhas de um esquema de controlo de qualidade.....	36

Figura 28 - Resultados do método estatístico de Shewhart para Cerveja A (Sala 1)	36
Figura 29 - Resultados do método estatístico de Shewhart para Cerveja A (Sala 2)	37
Figura 30 - Medição de cor para os 6 fabricos do fermentador cilindro-cônico 9 inline vs. laboratório	38
Figura 31 - Cor do mosto (em °EBC) medida para cada fabrico em fermentadores subsequentes. ...	39
Figura 32 - Presença de condensados na lente ótica do medidor de cor.....	39
Figura 33 - Valores de cor (em °EBC) corrigidos para a Sala 1 (32A) e para a Sala 2 (32B).	41
Figura 34 - Leituras de cor (°EBC) inesperadas nos fabricos de cada fermentador.	42
Figura 35 - Transferência de mosto.	42
Figura 36 – Parâmetros de controlo da cor do mosto medidos inline para a Sala 1 - A, C, ABS e Cor (em °EBC).....	43
Figura 37 - Parâmetros de controlo da cor do mosto medidos inline para a Sala 2 - A, C, ABS e Cor (em °EBC).....	43
Figura 38 – Comparação da massa de sólidos obtida após centrifugação para a Sala 1 e para a Sala 2.....	44
Figura 39 – Tempo de estacionamento do mosto no whirlpool proveniente da Sala 1.	44
Figura 40 – Tempo de estacionamento do mosto no whirlpool proveniente da Sala 2.	45
Figura 41 - Mecanismo de reação de Maillard, para formação de melanoidinas.	46
Figura 42 - Quebra de extrato.	47
Figura 43 – Representação das 7 fases em que o processo foi dividido, para a construção da Matriz QA.....	49
Figura 44 – Resultados da Matriz QA - 5M vs fases do processo.	50
Figura 45 – Distribuição de pesos da ocorrência de falhas com base nos 5M.....	51

Índice de tabelas

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do arejamento antes e depois do permutador de calor (quente e frio) em linha.....	14
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens entre injeção de ar e O ₂	14
Tabela 3 – Ensaios de arejamento realizados. Os valores de O ₂ no ar injetado na linha estão representados em ppm.....	17
Tabela 4 – Resultados de O ₂ dissolvido e qualidade da levedura para o padrão e ensaio (6 testes), relativos à Sala 1.	26
Tabela 5 – Resultados de O ₂ dissolvido e qualidade da levedura para o padrão e ensaio, relativos à Sala 2.....	26
Tabela 6 - Parâmetros de qualidade do arejamento para um arejamento padrão (vermelho), ensaio amarelo e ensaio azul.	28
Tabela 7 - Absorvância a 430nm para medições de cor da cerveja é o método utilizado pela European Brewery Convention (EBC).	30
Tabela 8 – Caracterização das propriedades físicas inerentes a cada malte: cor (em °EBC), aparência, tipo de cerveja gerada e sabor associado.....	31
Tabela 9 – Exemplo da correção dos valores de cor (em °EBC) referentes à CC4, tendo em conta as diferenças existentes entre os valores inline e laboratoriais.....	40
Tabela 10 - Valores médios de diferença de cor em relação ao fabrico usado como padrão (2º fabrico).....	41
Tabela 11 – Diferença de tempo de estacionamento entre a Sala 1 e a Sala 2.....	45

Abreviaturas

AL – Álcool

BBT – *Beer Bright Tank*

BCS – *Business Comparison System*

BH – *Brewhouse*

CC – Fermentador cilindro-cónico

CILT – *Cleaning, inspection, lubrication and tightening*

CIP – *Cleaning-in-place*

CO₂ – Dióxido de carbono

CU - *Color units*

EBC – *European Brewery Convention*

ER – Extrato real

FTR – *First Time Right*

JIPM – *Japan Institute of Plant Maintenance*

KPI – *Key Performance Indicator*

LC – Linha central

LCI – Limite de controlo inferior

LCS – Limite de controlo superior

LUP – Lição de um ponto

LY – *Last Year*

N₂ – Azoto molecular

O₂ – Oxigénio molecular

OE – Extrato original

OT – *Outdoor Tank*

QA – *Quality Assurance*

QM – *Quality management*

SAL – Sociedade de Águas do Luso, S.A.

SCC – Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A.

SO₂ – Dióxido de enxofre

TPM – *Total Productive Management*

WP – *whirlpool*

YTD – Year to Date

1. Enquadramento

Um dos grandes objetivos da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas (SCC) é ser a empresa de bebidas, a operar em Portugal, que lidera a satisfação dos consumidores e clientes, produzindo e distribuindo com paixão marcas de bebidas que fazem parte das suas vidas (SCC, <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx>, [Acedido a 08 de Maio de 2018]).

Tendo em conta a competitividade existente hoje em dia entre as indústrias do setor, este é um fator diferenciador que pode dar vantagem à empresa, se for assegurada a qualidade do seu produto final. Como tal, e porque é muito importante que se evitem inconformidades, é imperativo que o processo em si seja controlado.

Esta passagem de controlo do produto para controlo do processo tem em conta algumas prioridades definidas pela Gestão, como é a otimização da fase de arrefecimento do mosto, onde existe muito potencial de melhoria, visto que alguns parâmetros não atingem os valores definidos como *target*.

Assim sendo, esta dissertação teve como objetivo principal atuar ao nível do arejamento da cor e do extrato do mosto, contribuindo para esse objetivo de melhoria contínua. A nível de estrutura desta dissertação e para uma melhor compreensão da parte do leitor, o Capítulo 1 foi criado como enquadramento geral, salientando o contexto da envolvente onde o trabalho prático foi desenvolvido. Por sua vez, o capítulo 2 enuncia a componente prática dividida nas suas vertentes: arejamento do mosto, cor do mosto e quebra de extrato. Todas os parâmetros foram estudados tendo em vista o mesmo objetivo, otimização da linha de arrefecimento. Devido ao facto de cada um ter sido analisado separadamente, foi inserida uma parte introdutória a cada capítulo, de modo a permitir um melhor enquadramento e familiarização do leitor com o parâmetro em estudo. No final, são retiradas conclusões gerais sobre o estudo completo, aliando as oportunidades de melhoria a ideias inovadoras e aplicações a outras áreas de estudo.

1.1 Descrição da Companhia

A atividade da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. (SCC) está afeta à produção de cerveja e malte, como também de bebidas como água e refrigerantes.

A Sociedade Central de Cervejas nasce em 1934 fruto da associação de quatro cervejeiras nacionais bastante prestigiadas: *Companhia de Cervejas Estrela*, *Companhia Produtora de Malte e Cerveja Portugália*, *Companhia da Fábrica de Cerveja Jansen* e *Companhia de Cervejas Coimbra*. Em 1935 foi integrado o património de mais uma cervejeira: *Fábrica de Cerveja Trindade*. Foi apenas em 1940 que foi introduzida no mercado, pela primeira vez, a cerveja branca da marca Sagres, numa garrafa com formato “*long neck*” (SCC, <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx> [Acedido a 08 de Maio de 2018]). A garrafa sagres evoluiu de acordo com a Figura 1.



Figura 1 - Evolução da garrafa Sagres (SCC, <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx> [Acedido a 08 de Maio de 2018]).

Em 1970 o grupo SCC adquire mais de metade do capital da Sociedade da Água do Luso (SAL) iniciando a comercialização dos seus produtos e, na década de 90, quando a cerveja Sagres completa 50 anos de idade, o capital da empresa é totalmente privatizado.

É em 2008 que o grupo *Heineken* adquire por inteiro o grupo SCC, que inclui igualmente a Novadis Unipessoal Lda e duas unidades industriais: em Vaçariça (SAL) e Vialonga que é composta por uma malteria e uma cervejeira. Na cervejeira, são produzidas as marcas de cerveja Sagres e as suas variantes (Preta, Radler e Cascade), segmentos *Premium* (diversas variedades de Bohémia), marcas *low-cost* (Cergal e Imperial), assim como marcas de sidra como Strongbow e Bandida do Pomar. Na Vacariça são captadas e engarrafadas as águas minerais da nascente Luso e Cruzeiro. Em Portugal, a SCC representa também outras marcas internacionais como Heineken, Desperados, Guinness e Affligem. O portefólio da SCC está representado na Figura 2.



Figura 2 - Portefólio de bebidas fabricadas e/ou distribuídas pela Sociedade Central de Cervejas e Bebidas (SCC, <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx> [Acedido a 08 de Maio de 2018]).

A fábrica da Vialonga tem uma área total de 330 mil metros quadrados. A cervejeira tem uma capacidade de 3 milhões de hectolitros anuais. De entre as cervejeiras pertencentes ao grupo *Heineken*, a SCC pertence a um lote restrito de fábricas que, para além do fabrico de cerveja, produz também malte para consumo próprio (cerca de 44%) ou para exportação, nomeadamente para países africanos satisfazendo um total de produção de 50 mil toneladas por ano.

Em 2010 a *Heineken* lança o programa de sustentabilidade *Brewing a Better Future*, com o objetivo de tornar o Grupo mais sustentável, sendo que 4 anos mais tarde, o programa passa a designar-se *Brewing a Better World*, alinhando a estratégia não só com a Empresa, mas também com

a Sociedade e o Planeta. A SCC como parte integrante do grupo tem já delineados, e em curso, os seus objetivos (SCC, <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx> [Acedido a 08 de Maio de 2018]):

- Promover o consumo responsável;
- Melhorar o impacto ambiental e social reduzindo o consumo de água e energia;
- Melhorar as emissões de dióxido de carbono (CO₂);
- Obter matérias-primas de fontes sustentáveis.

Hoje em dia, os objetivos prioritários da SCC são o foco na marca, consumidor e cliente, a eficiência operacional do processo e a inovação de produtos.

No presente ano 2018, a cervejeira de Vialonga completou 50 anos de história, o que representa um marco importante e significativo no sector das bebidas em Portugal.

1.2 Fabricação de cerveja em Vialonga

A cerveja Sagres é 100% natural e produzida segundo métodos tradicionais, sem adição de qualquer aditivo ou conservante. O álcool é produzido exclusivamente a partir da fermentação dos açúcares do malte e cereais não-maltados (cevada e milho) que contribuem para otimizar a eficiência de extração de açúcares do mosto (Eßlinger & Narziß, 2009).

O processo de obtenção do malte é conhecido como maltagem, e é fundamental para a qualidade e unicidade da cerveja. A transformação do cereal em malte começa com a molha dos grãos, aumentando a sua humidade, de modo a garantir as condições ótimas para o início da germinação. Esta fase tem como objetivo a produção de enzimas que hidrolisam parcialmente o amido e as proteínas. A intensidade desta fase é caracterizada pelo grau de modificação do malte, muito importante na obtenção do sabor e dos aromas do malte. O malte verde é depois submetido a secagem e torrefação, obtendo-se esta matéria prima muito importante na fabricação da cerveja (Montanuci *et al.*, 2016).

Obtendo-se as matérias-primas, é necessário o desdobramento do amido em açúcares fermentescíveis mais pequenos, para que a levedura realize a fermentação (Willaert, 2006). É nas seis etapas da brassagem (moagem, empastagem, filtração, fervura, clarificação e arrefecimento) que é possível a obtenção de mosto em que a levedura pode ser inoculada e dar início à fermentação (Costa, 2014). Em Vialonga existem duas linhas de produção, identificadas como Sala 1 e Sala 2, tendo esta nomenclatura derivado à sequência temporal de instalação na SCC: a Sala 2 é mais recente, e foi construída com o objetivo de fazer um *scale-up* à produção em Vialonga. A etapa de clarificação, também estudada ao longo desta dissertação, tem uma grande importância no sentido de garantir o sabor e estabilidade coloidal da cerveja, por remoção de sólidos por centrifugação (*trub*), cuja presença é altamente indesejável nas fases posteriores do processo (Pinto, 2013).

A linha de arrefecimento do mosto em Vialonga é bastante característica e bem desenvolvida. O arrefecimento do mosto é feito num permutador de calor trifásico, cujos fluidos refrigerantes são a água tratada da rede de água da fabricação e a água etanolizada em duas diferentes concentrações que é por sua vez, arrefecida em torres de refrigeração. Até 2014, era usado um sistema com amoníaco,

que constitui um fluido refrigerante bastante eficiente, retirando calor por absorção. O uso deste fluido permite que o arrefecimento tenha uma grande eficiência, estando ainda associado a reduzidos custos de manutenção (Bassols *et al.* 2002). Ainda assim, visto que o amoníaco é bastante nocivo para a saúde humana e o risco associado ao processo era elevado, eram necessárias condições de segurança extremas. Como tal, este sistema foi substituído por água etanolizada, que ainda é hoje usada no processo.

A água proveniente do arrefecimento, após passar nos permutadores e ter removido o calor do mosto, é reaproveitada, seguindo para os tanques de água quente situados na brassagem, tendo depois vários destinos, como a etapa de CIP por exemplo. Esta gestão da água quente é extremamente vantajosa para a SCC, já que as necessidades energéticas para aquecer água para usar nas etapas subsequentes são menores, reduzindo drasticamente os gastos anuais em utilidades.

A etapa seguinte, fermentação do mosto, permite a obtenção de cerveja verde. É neste processo que os açúcares fermentescíveis do mosto são transformados em álcool e CO₂ por fermentação alcoólica, por atuação da levedura. Antes de realizar a fermentação, o mosto tem de ser previamente arejado para que a levedura seja inoculada em condições ótimas para o seu metabolismo (Bamforth, 2003). A Sagres Branca é do tipo *Lager*, sendo que muitas vezes o seu tempo de fermentação é superior a 15 dias. No final da fermentação, a cerveja é separada da levedura, sendo que esta última segue para tanques de reaproveitamento (no caso de se encontrar viável) ou para venda como subproduto. Os gases produzidos durante a fermentação são aproveitados.

Segue-se a maturação, onde a cerveja é enviada para os tanques de guarda, onde a cerveja está em repouso para redução da turvação garantindo a estabilidade coloidal e apurar as suas características a nível organolético. (Briggs *et al.*, 2004).

Posteriormente e antes de passar para a fase de enchimento, a cerveja passa pelas etapas de filtração, diluição e carbonatação para que esta se encontre dentro de especificação no produto final e onde é conferida a limpidez, tão característica da marca. Até este passo, a cerveja é concentrada e precisa de adição de água (que é previamente tratada e desarejada) para ser diluída até à concentração estabelecida para a receita respetiva (Briggs *et al.*, 2004).

O processo de enchimento consiste na colocação da cerveja na respetiva embalagem (garrafas de vidro, lata ou barris) ou então em cisternas ou *beerdrive*. No primeiro caso, decorrem os passos de capsulagem, rotulagem e embalamento. Neste processo é ainda efetuado o passo de pasteurização. Pode consistir numa pasteurização *Flash* onde a cerveja é esterilizada antes do enchimento, através da passagem permutadores de calor, ou *Túnel*, em que a pasteurização é feita com chuveiros de água quente, onde passam as embalagens já contendo a cerveja. No final, o produto é submetido a um passo de identificação da embalagem, como rotulação ou etiquetagem, consoante o tipo de embalagem a tratar (Teixeira, 2014).

A Figura 3 representa um diagrama com todos os processos de fabricação de cerveja desde a receção de cevada até à sua distribuição.

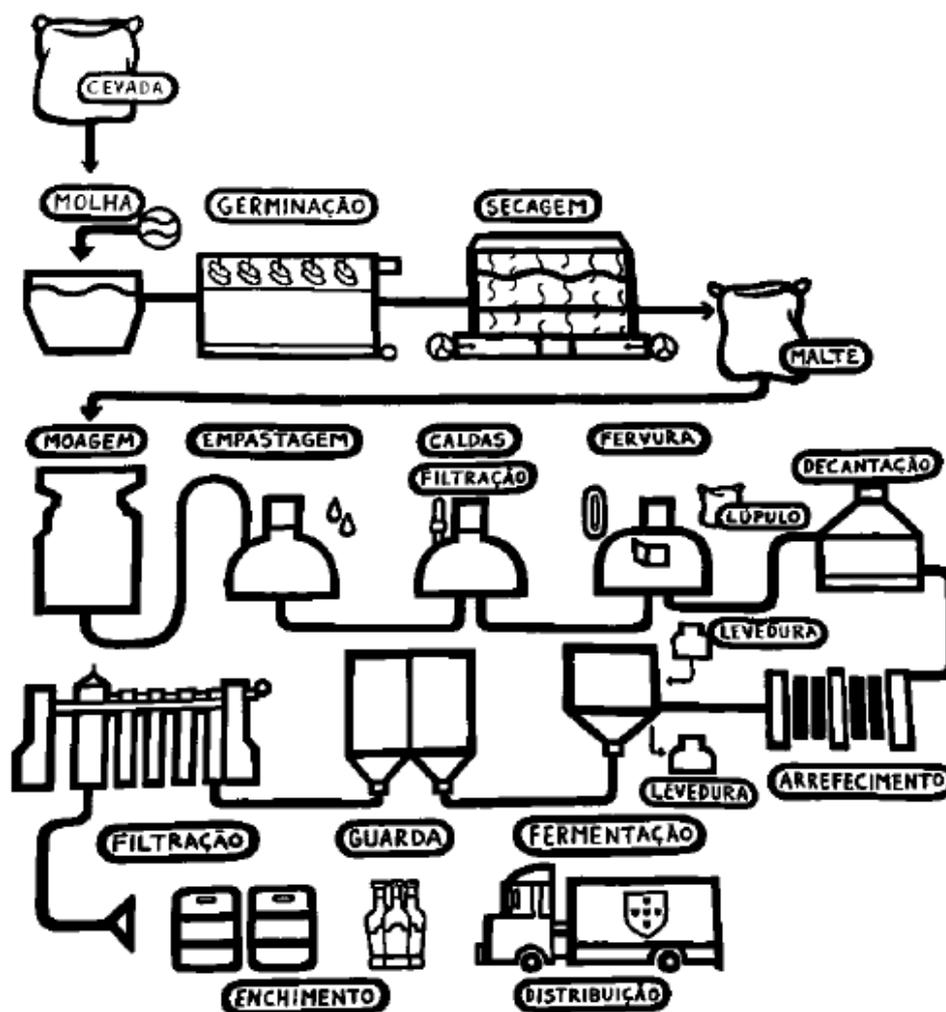


Figura 3 - Processo de fabricação do malte e da cerveja.

1.2.1. Sistema de arejamento em Vialonga

O sistema de arejamento do mosto implementado na fábrica de Vialonga é o de injeção de ar estéril. Esta injeção é feita em linha após o mosto ser arrefecido em permutadores de placas, e antes da inoculação de levedura (que é apenas adicionada ao primeiro fabrico de cada fermentador). Visto que um fermentador recebe até 6 fabricos de mosto provenientes da brassagem, a pressão no interior deste equipamento vai aumentada e faz com que acresça a dissolução de oxigénio aumente e, como tal, pode ser estudada a injeção de ar nos diferentes fabricos, de modo a otimizar a dissolução de O_2 . Sendo que a levedura atinge a sua fase exponencial de crescimento entre as 12 e as 24 horas, a injeção de O_2 deve considerar os valores ideais não só para sua fase de crescimento como também na fase de fermentação.

O circuito comum de circulação de mosto proveniente da brassagem composto por 2 linhas (sala 1 e sala 2), após arrefecimento, injeção de ar e adição de levedura, é ramificado e poderá ter 3 destinos distintos: os fermentadores cilindro-cónicos “de baixo” (numerados de 1 a 8), os fermentadores cilindro-cónicos “de cima” (numerados de 9 a 12) e os *outdoor tanks* (numerados de 1 a 20). Os CC’s de “baixo” e “cima” são assim designados devido à sua localização a cotas diferentes.

Os fermentadores em estudo são os CC's, visto que a recuperação de levedura é mais eficaz (nos OT's a extração de levedura do tanque faz-se manualmente com pás, razão pela qual não ser a escolha preferencial). Esta constitui a grande vantagem associada à utilização de tanques cilindro-cónicos, o que permite uma maior facilidade de operação e limpeza, reduzindo o tempo de operação do processo. Para estes equipamentos, os dois circuitos de circulação provenientes de ambas as salas, cessam num painel que permite a ligação destes com os dois circuitos das CC's – o circuito de baixo e o circuito de cima. O circuito de baixo (Identificado como B, na Figura 4) apenas enche preferencialmente os fermentadores de baixo (CC's 1 a 8), enquanto que o circuito de cima (A, Figura 4) enche de preferência os de cima (9 a 12). Existe também a possibilidade, caso haja necessidade de encher duas cónicas do mesmo grupo, de usar um circuito extra que faz a ligação destes em circuito fechado (C, Figura 4).

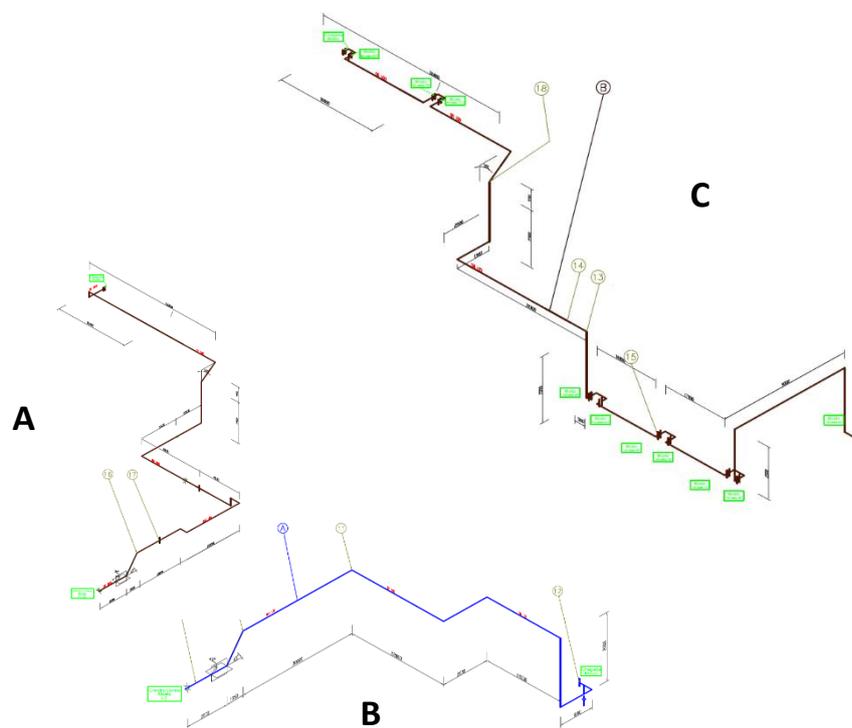


Figura 4 – Representação dos circuitos de circulação do mosto: circuito de cima (A), circuito de baixo (B) e circuito extra de ligação (C).

Cada um dos circuitos tem um sensor ótico instalado em linha para medição do O_2 dissolvido. O modo de funcionamento destes sensores é originário do trabalho de Kautsky em 1939, que demonstrou que o O_2 pode estimular dinamicamente a fluorescência de um indicador (Kautsky, 1939). Este princípio foi relatado em vários campos de aplicação, como monitorização de parâmetros biológicos em águas residuais, testes de análise de gases no sangue e monitorização de culturas celulares. O método agora é reconhecido para a medição de O_2 na água. Comparado com a deteção clássica de O_2 usando sensores eletroquímicos, a tecnologia luminescente oferece várias vantagens, como o não consumo de O_2 , independência da velocidade do fluxo da amostra, não necessitar de um eletrólito e baixa manutenção.

1.3 TPM – Total Productive Management

O TPM foi desenvolvido no Japão poucos anos após a Segunda Guerra Mundial ter devastado o país. As indústrias tinham a necessidade de se reerguer rapidamente já que a maioria das falhas que ocorriam se deviam ao uso incorreto do equipamento, sendo que a manutenção era feita de modo corretivo, e após o equipamento ser impossível de operar (Coelho, 2008). A importação destas técnicas de gestão dos Estados Unidos da América tinha o objetivo de relançar a economia do país e esse crescimento deveria ser totalmente sustentável, de forma sincronizada e totalmente à prova de erros.

Na década de 60 houve a adaptação das técnicas americanas à gestão das fábricas japonesas. O primeiro a surgir foi o conceito de “*Preventive Maintenance*”, que se baseia no acompanhamento das condições dos equipamentos aplicando medidas preventivas de controlo que aumentem significativamente o tempo de vida útil dos equipamentos, e previnam a necessidade de ações corretivas. Alguns anos depois, aparece o conceito “*Corrective Maintenance*”, que é interpretado como uma melhoria da manutenção preventiva. O “*Total Productive Maintenance*” surge em 1971 e reflete a evolução e combinação de todos os conceitos desenvolvidos até então, e proporciona uma redução de custos implicados com o ciclo de vida dos equipamentos (Soares, 2007). O TPM foi primeiramente implementado na empresa Nippondenso, do grupo Toyota, sob orientação de Seiichi Nakajima, um técnico do JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*).

O TPM é um método de gestão que tem como objetivo a integração do processo produtivo através de pessoal qualificado, equipamentos e sistemas produtivos. O uso desta metodologia permite identificar e eliminar as falhas associadas aos processos de produção, garantindo a qualidade do produto final. É uma ferramenta que assenta numa filosofia de melhoria contínua, desenvolvendo nos operadores uma mentalidade preventiva para que sejam evitados novos investimentos associados a restauração de equipamentos e tempos de paragem elevados (Sobral, 2015).

Os três objetivos principais do TPM são: zero defeitos, zero paragens, zero acidentes (Ahmed *et al.*, 2010). Para garantir que são atingidos estes objetivos, o TPM comporta seis dimensões essenciais (Teixeira, 2014):

1. **Higiene, Ambiente e Segurança** (redução de acidentes);
2. **Distribuição** (cumprimento de prazos de entrega);
3. **Despesas** (redução de custos);
4. **Motivação dos colaboradores** (incutir filosofias de melhoria contínua e trabalho em equipa);
5. **Produtividade** (subida de rendimento associado à redução de defeitos);
6. **Qualidade** (redução de defeitos e conseqüente redução de queixas e reclamações).

O TPM está organizado em vários Pilares (equipas específicas), que suportam atividades distintas de forma a garantir o atingimento dos indicadores de performance estabelecidos pela companhia. Desta forma, cada pilar tem um objetivo estratégico adaptado à organização em que está inserido, de acordo com o modo de falha que se pretende corrigir/eliminar. A sequenciação destas atividades encontra-se na Figura 5 (Heineken, 2009).

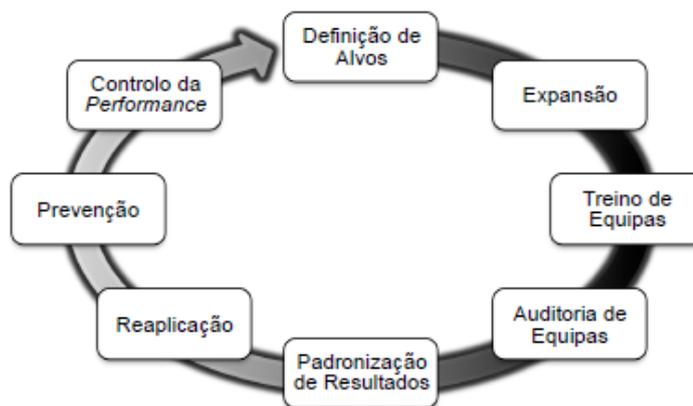


Figura 5 - Atividades dos pilares do TPM (Teixeira, 2014)

1.3.1 TPM Next

O TPM Next foi implementado em Vialonga, de modo a intensificar o impacto que o TPM tem sob a performance da empresa a vários níveis. Com esta inovação, pretende-se que o TPM constitua um meio para atingir os objetivos de qualidade e não um fim, melhorando a ligação do TPM aos padrões e conhecimentos existentes para construir uma base mais sólida, com maior foco na implementação e manutenção de condições básicas (Heineken, 2018)

Devido ao facto de o uso do TPM não ser efetivamente apoiado a um nível organizacional, o TPM Next providencia um maior foco na capacidade de desenvolvimento da empresa, assegurando que as responsabilidades diretamente relacionadas com o TPM estão alinhadas de forma correta e funcional com os objetivos da organização (Heineken, 2018)

O TPM Next na Heineken está organizado em sete pilares de base, diferentes dos 8 pilares do TPM. A nova distribuição de pilares foca-se na excelência de execução dos *standards* definidos, executando os básicos, e na liderança, impulsionando o desempenho e dando suporte à gestão de mudanças para todo o programa, e garantindo a excelência do *Shopfloor*.

Esta evolução deveu-se principalmente à constante procura de melhoria no sentido de obter um produto cada vez mais próximo das exigências do consumidor, com um controlo microbiológico superior motivado pelas mudanças nos teores de álcool e *off-flavors*. A um nível organizacional, pretende-se dar uma maior atenção a um nível funcional, assegurando que a Gestão é provida com as ferramentas apropriadas para atacar as perdas (Heineken, 2018). Os pilares do TPM e do TPM Next estão demonstrados na figura 6.

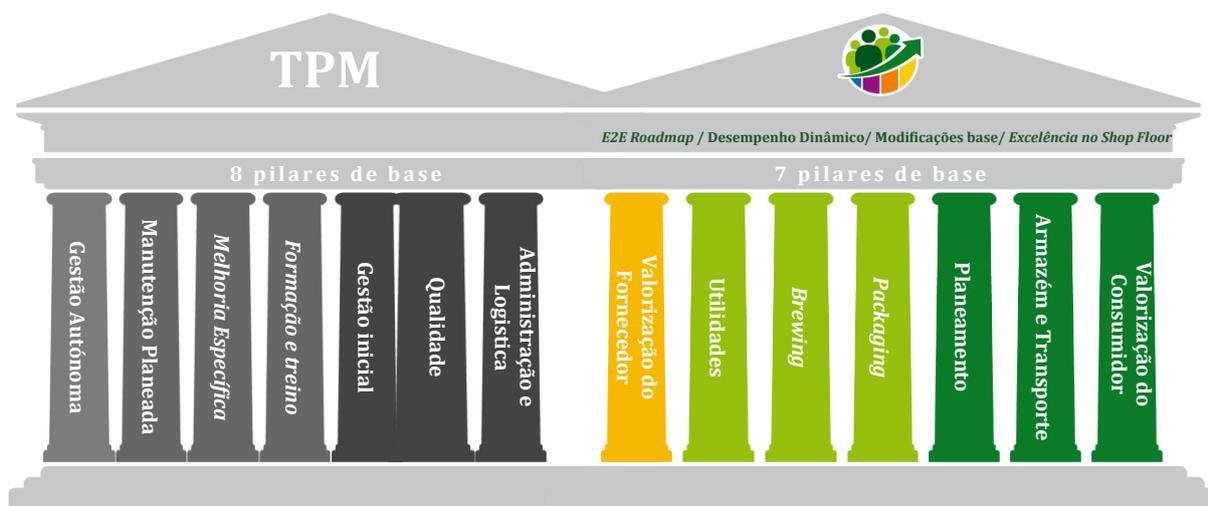


Figura 6 – Demonstração dos 8 pilares do TPM e dos 7 pilares base do TPM Next (Heineken, 2018)

Para além dos pilares de base, a estrutura apresenta ainda 7 pilares transversais, a quem são atribuídas responsabilidades direcionadas a cada objetivo e área de atuação, compostos por pessoas que, num ambiente de *brainstorming*, procuram de forma clara e inovadora procurar oportunidades de melhoria e solução para os problemas identificados. Estes pilares estão demonstrados na figura 7:

PILARES TRANSVERSAIS



Pilar da Segurança
Pilar da Qualidade
Pilar da Manutenção
Pilar de Desenvolvimento de Pessoas e Organização
Pilar da Sustentabilidade Ambiental
Pilar de Materiais de Empacotamento Retornáveis
Pilar de Manutenção Preventiva e de Projetos

Figura 7 - Demonstração dos pilares transversais do TPM Next.

1.3.2 Ferramentas Auxiliares ao TPM

O TPM apresenta algumas ferramentas que auxiliam à aplicação desta metodologia, e que se apoiam na discussão de ideias para o desenvolvimento da filosofia de melhoria contínua.

KAIZEN

Kaizen é um termo japonês que se tornou comum em muitas empresas ocidentais. A palavra indica um processo de melhoria contínua do modo padrão de trabalho. É uma palavra composta envolvendo dois conceitos: *Kai* (mudança) e *Zen* (para melhor) (Erdogan *et al.*, 2017). O termo vem de

Gemba Kaizen, que significa “Melhoria Contínua”. A Melhoria Contínua é uma das principais estratégias para a excelência na produção e é considerada vital no ambiente competitivo da atualidade. Isso exige um esforço infinito de melhoria envolvendo a totalidade dos intervenientes na organização (Malik *et al.*, 2006).

Esta metodologia tem como principal objetivo a criação de equipas Kaizen, que englobem pessoas de várias secções, que procurem a definição de soluções e melhorias, de modo a identificar os problemas existentes e solucioná-los num curto espaço de tempo, quando assim for necessário (Teixeira, 2014).

LIÇÃO DE UM PONTO (LUP)

Tem como principal objetivo facilitar a assimilação e a prática de um determinado processo de um fluxograma ou de uma atividade específica, utilizando-se desenhos com descrições e instruções, de modo a padronizar determinados pontos críticos encontrados. A vantagem da utilização desta técnica é que as informações, procedimentos ou padrões são apresentados gradualmente (ponto por ponto) e ilustrados com desenhos.

As LUP's podem ser elaboradas por qualquer colaborador da empresa, e são aplicadas a uma área de trabalho específica, para resolução dos problemas identificados, servindo de *standard*.

ANÁLISE “5 PORQUÊS”

Esta ferramenta é utilizada quando é identificado um problema e se pretende descobrir qual a raiz do mesmo, elaborando e confirmando várias hipóteses (“porquês”). Experiências mostram que parar no 2º ou 3º “porquê” normalmente significa que a análise não foi suficiente, já que não solucionam o problema encontrado. Após a análise completa, podem ser definidas ações corretivas ou preventivas de forma a erradicar o modo de falha (Gomes *et al.*, 2008).

MATRIZES DE QUALIDADE

A construção de matrizes de qualidade tem como principal objetivo assegurar a qualidade dos produtos e/ou processos de produção, e é feita através da constituição de equipas formadas por elementos integrados no desenvolvimento e manutenção do produto/processo. Estas matrizes, como a Matriz QA (*Quality Assurance*) ou QM (*Quality Management*) contribuem para a sintetização dos modos de falha existentes no produto/processo, de modo a poder obter-se uma clara caracterização dos objetivos prioritários de atuação e definir-se estratégias associadas a cada defeito, procurando sempre substituir ações corretivas por preventivas e, se possível, preditivas (Luminița *et al.*, 2012).

5M

Um processo de fabricação consistente e rentável está enraizado na filosofia dos 5M's de eficiência: mão de obra, material, máquina, método e medição. Esta ferramenta pode ser usada para avaliar cada processo ou problema na fabricação, de modo a que seja possível a determinação de cada causa-raiz da ineficiência, já que estes têm influência direta na manutenção de fabricação eficiente. Estão associados à construção de matrizes de qualidade, onde, por exemplo, uma Matriz QM reflete

acerca do peso que cada M exerce sobre o defeito em questão, para uma definição futura de objetivos de melhoria (Heineken, 2009).

2. Trabalho Prático

2.1. Arejamento do Mosto

O arejamento do mosto é um campo muito importante que tem sido estudado pelas indústrias cervejeiras a fim de otimizar o crescimento de levedura e produtividade da fermentação.

A levedura tem a capacidade de metabolizar e sintetizar componentes, tanto em condições de aerobiose, como em condições de anaerobiose (Figura 8B). Para a formação de proteínas, a levedura necessita maioritariamente de aminoácidos que são obtidos do substrato envolvente ou sintetizados pela própria (Figura 8A). Para além de proteínas, a levedura também necessita de micronutrientes como vitaminas e minerais para a estabilização do sistema enzimático (Eßlinger & Narziß, 2009). O mosto é deficiente em certos fosfolípídeos necessários para formar a membrana celular da levedura. Assim, antes de se iniciar a fermentação, a levedura necessita de oxigénio para promover a síntese de esterois e ácidos gordos insaturados, essenciais para a sua membrana plasmática (Fornairon-Bonnefond, 2002).

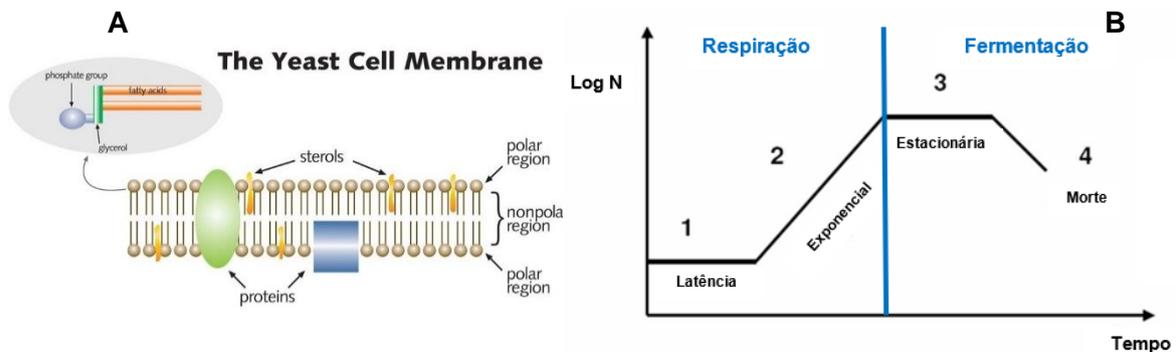


Figura 8 - Estrutura da membrana celular de leveduras (8A) (Distillique Beverages, Lda., http://distillique.co.za/distilling_shop/blog/96-basics-of-yeast-nutrients); Fases de crescimento de uma levedura (8B)

Daqui é possível observar a importância de arejar o mosto frio antes da adição da levedura. Se esta for incapaz de crescer, daí resultará numa fermentação lenta (com pH elevado final e outras alterações de sabor), baixa viabilidade (baixo teor de oxigénio (O_2) dissolvido pode levar a autólise da levedura) e possível contaminação de bactérias que cresçam mais rápido do que a própria levedura, competindo pelo mesmo substrato e deteriorando a cerveja (Institute of Brewing and Distilling, 2016). É surpreendentemente difícil conseguir que o O_2 se dissolva no mosto (ou mesmo na água) a pressões normais. Usando ar, apenas cerca de 8 ppm de O_2 pode ser alcançado no mosto. A quantidade necessária de O_2 dissolvido no mosto para a maioria das cervejas está geralmente situada na gama de 7 a 18 ppm (Institute of Brewing and Distilling, 2016). Para uma melhor dissolução, as pressões de trabalho têm de ser superiores à pressão atmosférica, e é necessária instrumentação adequada para pressurizar a linha.

Leveduras diferentes precisam de diferentes níveis de O_2 para o crescimento adequado. Sendo que o crescimento de levedura tem um efeito direto sobre o nível de álcoois e ésteres produzidos durante a fermentação, cervejas diferentes terão diferentes níveis de O_2 dissolvido para fornecer a quantidade correta (desejada) de ésteres e álcoois. (Morales *et al.*, 2015).

Não só o arejamento deficiente pode ser um problema, como também um arejamento exagerado pode levar a dificuldades no processo. Como a levedura precisa de O₂ para crescer, um arejamento demasiado elevado pode levar a um crescimento de levedura excessivo, o que causa uma grande perda de extrato, já que a levedura vai começar a consumi-lo para o seu metabolismo, e o extrato disponível para ser usado para fermentação será conseqüentemente menor.

O extrato original é a quantidade de sólidos presentes no mosto antes da fermentação alcoólica começar a produzir álcool. O extrato da cerveja é medido com base nos açúcares residuais dissolvidos num líquido de referência (água ou álcool). Isto é importante, porque o álcool tem uma densidade menor do que a água. Assim, a diferença entre as leituras do hidrómetro da densidade do mosto e da densidade da cerveja acabada leva a um valor chamado extrato aparente - aparente em vez de real, porque contém um pequeno erro, baseado no facto de o etanol ter apenas 79% da densidade da água pura. Assim, o extrato real é o valor corrigido tendo em conta o valor da atenuação. (Lei *et al.* 2016)

A medição da perda de extrato é feita recorrendo à fórmula de Balling. Quando conduzia a sua experiência em 1843, C.I.N. Balling descobriu que 2,0665 g de extrato conduziam à produção de 1 g de álcool e 0,9695 g de CO₂, sendo ainda produzidos 0,11 g de matéria seca de nova levedura (Heineken, 2008). Assim sendo, o seu balanço mássico foi o seguinte:

$$\text{Perda de extrato} = \text{Álcool} + \text{CO}_2 + \text{Matéria seca}$$

Desta igualdade, Balling calculou que, para 100 g de cerveja:

$$OE = \frac{(2,0665 \times AL + ER) \times 100}{(100 + 1,0665 \times AL)}$$

onde **OE** representa o extrato original, **AL** representa o teor em álcool e **ER** o extrato real.

A quantidade de O₂ dissolvido no mosto afeta bastante o crescimento da levedura, tanto que algum modo de controlo é necessário para garantir a consistência deste crescimento controlado. Existem diversos fatores que condicionam a dissolução de O₂ no mosto. Estes podem depender do próprio mosto, nomeadamente a nível de temperatura e concentração, ou então das condições do próprio sistema de injeção como a pressão e o tipo sistema de injeção: ar comprimido ou oxigénio. Esta manutenção é extremamente valorizada não só para controlar o ótimo funcionamento da levedura, mas também para garantir a excelência do produto acabado, sem que se verifiquem muitas quebras de material.

Em relação às características da matriz, a solubilidade do O₂ diminui com o aumento do extrato, ou seja, quanto maior for a quantidade de extrato, menos O₂ será dissolvido. Para produzir uma cerveja com cerca de 16°Plato, é necessário aumentar o O₂ dissolvido, porque mais levedura terá de ser inoculada (White & Zainasheff, 2010). Um outro fator diz respeito à temperatura - quanto maior, menor a quantidade de O₂ que é dissolvido. O mosto pode ser arejado a quente ou a frio. Existem vantagens e desvantagens em arejar antes ou depois do permutador de calor, como descrito na Tabela 1 (Institute of Brewing and Distilling, 2016).

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do arejamento antes e depois do permutador de calor (quente e frio) em linha.

SISTEMA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<i>Arejamento do mosto quente (em linha)</i>	<i>O ar é esterilizado pelo próprio mosto. O ar é dissolvido eficientemente enquanto é arrefecido (fluxo turbulento dentro do permutador).</i>	<i>Ganho significativo de cor pelo mosto (oxidação de polifenóis). Alteração de sabor.</i>
<i>Arejamento do mosto frio (em linha)</i>	<i>Menor risco de oxidação do mosto. Maior solubilidade.</i>	<i>Necessidade de fornecer ar esterilizado ou O₂.</i>

Em relação ao sistema de injeção, a escolha entre arejamento ou oxigenação baseia-se geralmente no nível de O₂ dissolvido requerido no mosto. No entanto, é possível dissolver até aproximadamente 30 ppm de O₂ no mosto frio se se utilizar O₂ puro. A comparação entre injeção de ar e O₂ está descrita na Tabela 2:

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens entre injeção de ar e O₂.

SISTEMA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<i>Injeção de ar</i>	<i>Ar comprimido é barato. Ponto de saturação é aproximadamente comum ao requerido por maior parte das leveduras.</i>	<i>Necessidade de esterilização do ar. O grande volume de N₂ introduzido com o ar dificilmente é dissolvido e passa para o fermentador, promovendo a formação de espuma.</i>
<i>Injeção de O₂</i>	<i>Livre de micróbios. Não se formam "espumas azotadas" no fermentador. Os níveis de concentração são ajustados facilmente e com precisão.</i>	<i>Necessidade do uso de um sistema de controlo por feedback para assegurar que não existe excesso de dissolução de O₂.</i>

2.1.1. Trabalho prévio

O principal indicador de qualidade para avaliação dos parâmetros qualitativos associados ao processo é o FTR (*First Time Right*), que reflete a eficiência do processo, comparando os outputs com os inputs. Se estes forem iguais, então o FTR é igual a 100%. Este indicador é depois adaptado para os parâmetros que forem avaliados.

O FTR Produto Acabado foi um dos principais objetivos estabelecidos no início no ano 2018 pelo pilar da Qualidade da SCC (Figura 9), que é influenciado pelo FTR *Beer Production*. O arejamento do mosto é um parâmetro do FTR *Beer Production* (mais concretamente *Brewhouse*) e não estava a ser monitorizado em 2018 devido aos ajustes na receita. Em 2017, foi definido um target de 98% para o FTR Arejamento do mosto, e apenas foram conseguidos 53% dos fermentadores (Figura 10). Estava claro que existia uma clara urgência em estudar o arejamento do mosto, que tem elevada implicância na eficiência da levedura aquando da fermentação dos açúcares presentes no mosto, e na fórmula de Ballings enunciada anteriormente.

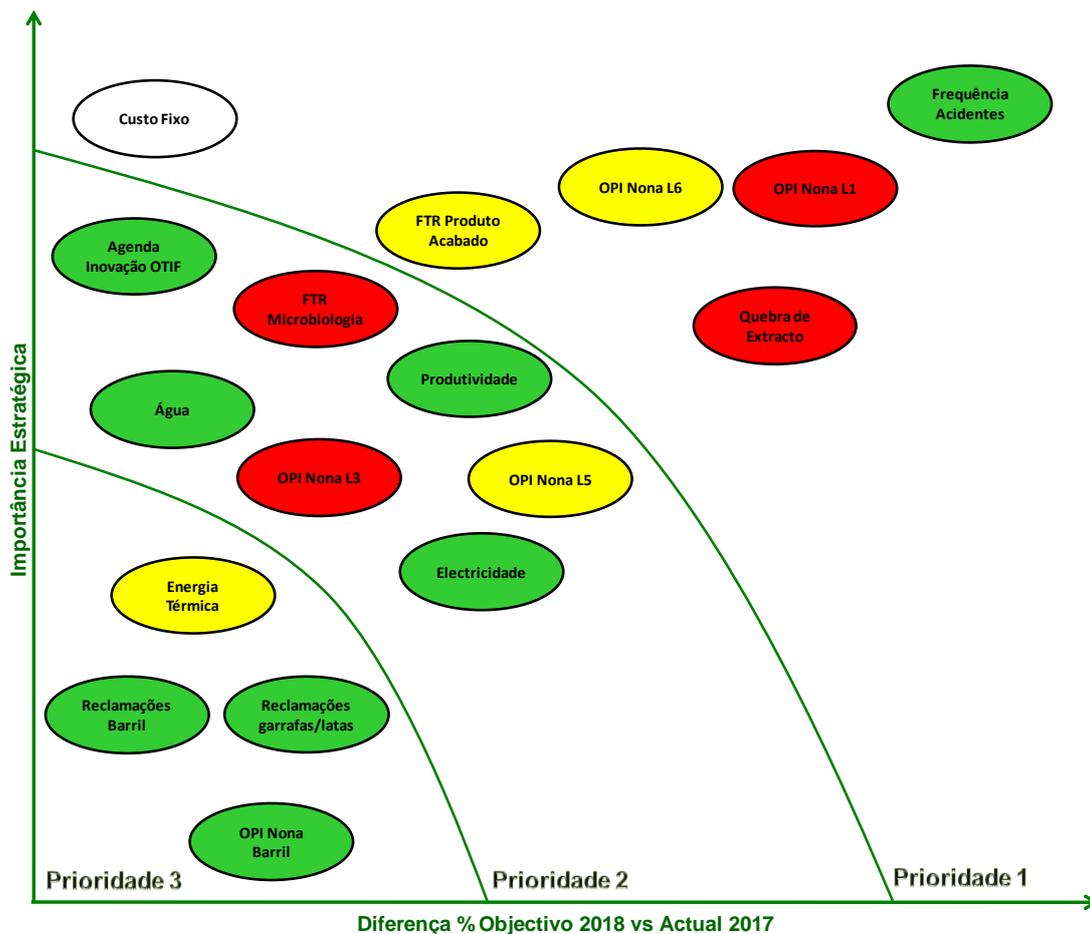


Figura 9 - Gráfico de prioridades definidas pelo pilar da Qualidade para 2018 na SCC

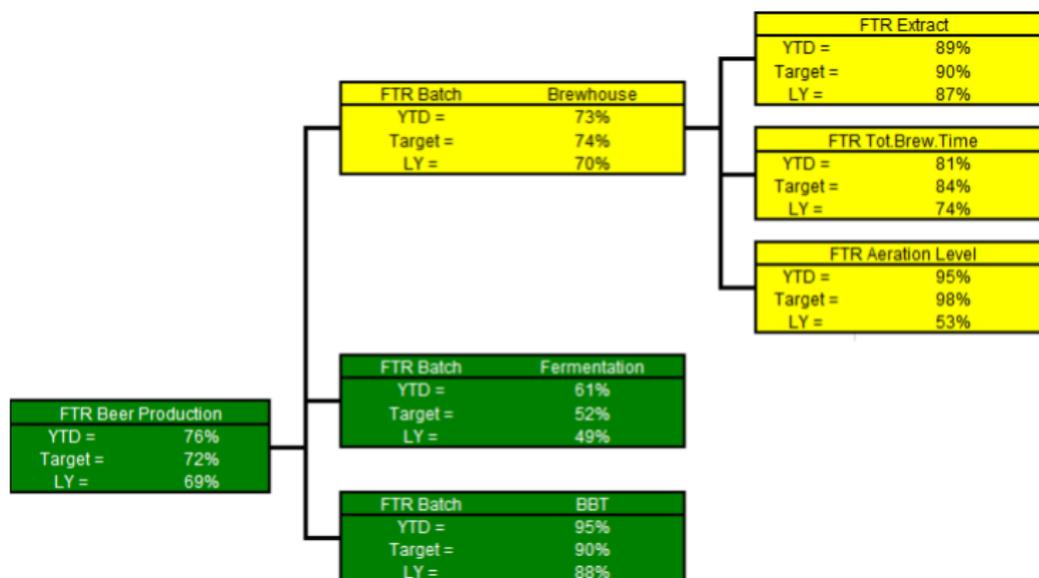


Figura 10 - Desmembramento do FTR Beer Production para o ano 2018 – FTR Aeration Level é um dos objetivos estabelecidos para atuar, devido ao seu elevado potencial de otimização, tendo em conta o target estabelecido (target = 98%) e o valor obtido no ano 2017 (LY = 53%).

Tendo-se demonstrado um ponto crítico do processo cervejeiro, houve trabalho desenvolvido nos últimos anos, com o intuito de otimizar o arejamento do mosto, através da constituição de várias equipas Kaizen, que se dedicaram ao estudo e identificação da raiz das falhas encontradas, e posterior resolução das mesmas. Um dos grandes obstáculos residia no facto da medição do O_2 dissolvido no mosto ser feita apenas vinte minutos após o arrefecimento do mosto, recorrendo ao uso de um medidor portátil e durante um período de tempo limitado, não havendo uma medição dos níveis de O_2 ao longo da inserção do mosto de cada um dos fabricos no fermentador.

Para se conseguir esta aferição, procedeu-se à instalação de um sensor de O_2 no circuito de circulação do mosto, que monitorizava continuamente a quantidade de O_2 dissolvido. Este novo método de medição trouxe resultados mais representativos da dissolução de O_2 em cada fabrico, tendo-se verificado que existia uma grande instabilidade na incorporação de oxigénio na linha de mosto, como demonstrado na Figura 11.

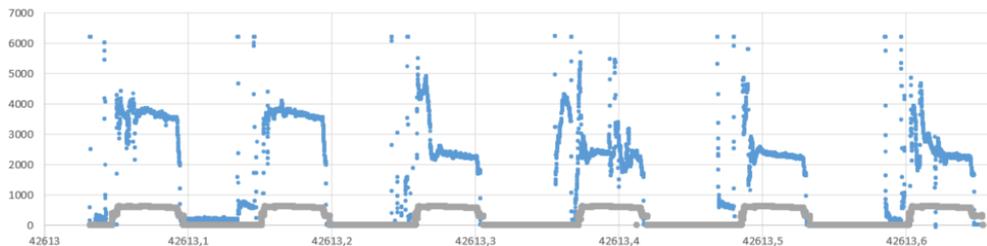


Figura 11 - Quantidade de O_2 incorporado na linha de mosto (azul) durante a inserção de cada fabrico no fermentador (cinza).

Para estabilizar o arejamento, procedeu-se a uma série de ações corretivas de alguns métodos e aparelhos que constituíam as causas do problema verificado.

A primeira causa potencial observada foi o facto de o set-point de arejamento nos 3º, 4º, 5º e 6º fabricos ser demasiado baixo, e como tal gerava anomalias no sistema de injeção. A pouca quantidade de ar injetado aliada a uma grande pressão no mosto fazia com que este entrasse pela linha do ar e levasse à acumulação de biofilme. Para além de reduzir a eficiência e vida útil dos equipamentos, os microrganismos que compõem os biofilmes são extremamente resistentes à desinfeção. Estas células estão altamente associadas a riscos elevados para a saúde do consumidos, e podem contaminar o mosto que passa na tubagem, causando prejuízos económicos à SCC.

Assim sendo, foi levado a cabo um teste onde se aumentou o set-point de arejamento nestes fabricos de 3,8 para 7ppm, removendo-se o arejamento do último fabrico.

Outra causa potencial era a esterilização dos filtros de ar que era realizada, e que promovia a acumulação de condensados na linha do ar. A presença de água interferia nas medições do caudalímetro, tendo-se eliminado esse passo de esterilização, uma vez não se mostrar necessário já que o filtro retém as partículas e os microrganismos.

Para se poder ter resultados fiáveis, foi reposta a condição padrão da linha, trocando-se as válvulas reguladoras de caudal dos circuitos de ar de macho esférico para agulha, que são capazes de uma regulação fina de precisão que não era obtida com o uso da válvula de macho. Foi montando um

sensor de pressão de um modelo mais recente (FMB50), para evitar a formação de condensados no interior. Este modelo tem a vantagem de mais estável a longo prazo, elevada resistência à formação de condensados e uma baixa influência da temperatura (https://cms.esi.info/Media/documents/78160_1461339585971, acessado a 24 de Outubro de 2018). Também a bomba *booster* foi desativada, já que esta tornava o caudal de ar instável, e o excesso de pressão obrigava a válvula moduladora a reagir e a não estabilizar.

Com esta melhoria no sistema de arejamento, começaram a obter-se resultados mais fiáveis, como observado na figura 12.

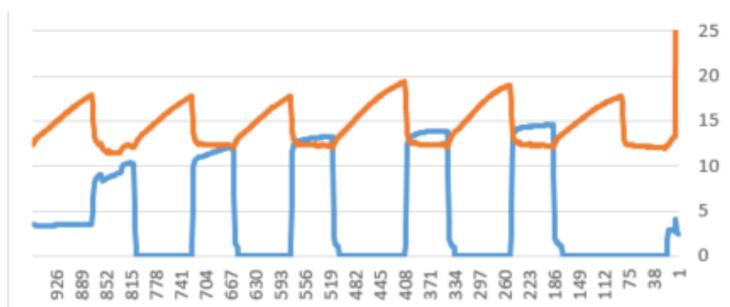


Figura 12 - Quantidade de O_2 dissolvido no mosto (azul) durante a inserção de cada fabrico no fermentador (laranja), após otimização.

Com a fiabilidade dos resultados atingida, era preciso estabilizar o arejamento e igualá-lo em todos os fabricos. Para tal, realizaram-se vários testes com diferentes arejamentos, de forma a obter o melhor cenário que permitisse reduzir o crescimento de levedura desnecessária e, por consequência, a quebra de extrato, que leva a uma poupança anual considerável.

Foram então realizados ensaios com diferentes arejamentos, cujos *set-points* estão representados na tabela 3.

Tabela 3 – Ensaios de arejamento realizados. Os valores de O_2 no ar injetado na linha estão representados em ppm.

	1º fabrico	2º fabrico	3º fabrico	4º fabrico	5º fabrico	6º fabrico
Padrão	7	7	7	7	7	0
Ensaio A	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	0
Ensaio B	6	6	6	6	6	0
Ensaio C	7	7	7	7	0	0

Os resultados seguintes são indicadores de que o ensaio B originou um perfil de arejamento mais constante do que os restantes, pelo que o arejamento testado no ensaio B foi adotado para a receita de Sagres Branca, e originou uma redução da perda de extrato em 0,5%.

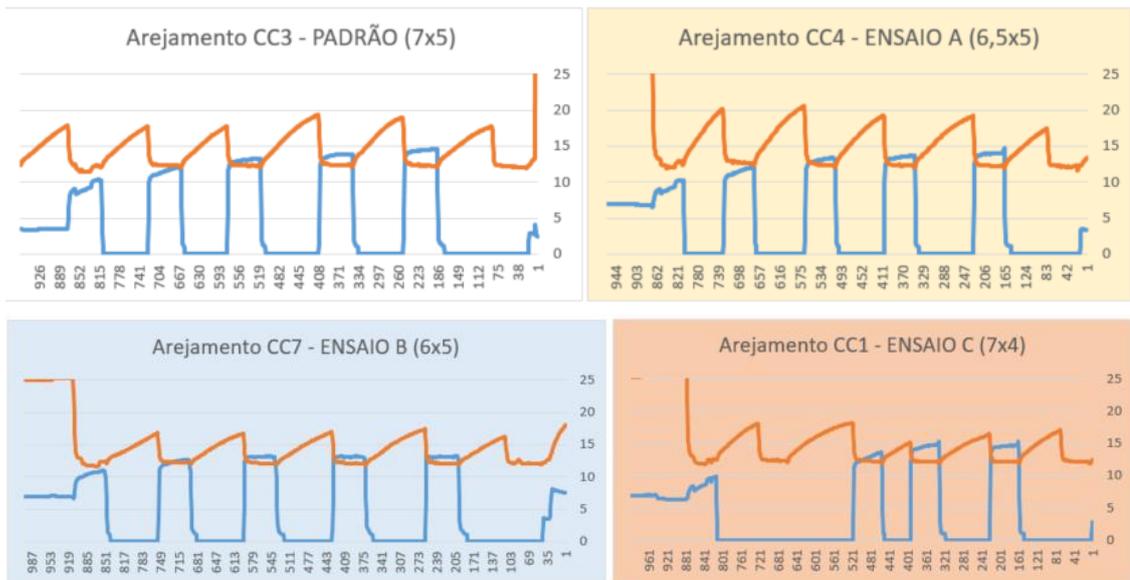


Figura 13 - Resultados dos ensaios de arejamento realizados com diferentes injeções de ar. Quantidade de O_2 dissolvido no mosto (azul) durante a inserção de cada fabrico no fermentador (laranja).

A primeira falha encontrada no sistema de arejamento acontecia quando se enchia os fermentadores cilindro-cónicos pelo circuito de baixo, para que o mosto passasse pelo medidor de O_2 e se pudesse aferir a quantidade de O_2 dissolvido no mesmo. Quando se enchia um fermentador cilindro-cónico de baixo (CC1-8) pelo circuito de baixo, a dissolução ocorria sem problemas. Quando se encheu um fermentador cilindro-cónico de cima (CC9-12) pelo circuito de baixo, havia formação de espuma, originada por uma dissolução excessiva de O_2 no mosto.

Para evitar este efeito de espumagem, procedeu-se à instalação de um sensor no circuito de cima, para que o arejamento do mosto pudesse ser aferido quando o mosto circulava por este circuito, e deste modo seria evitada uma dissolução excessiva de O_2 no mosto.

A instalação do 2º sensor permitiu que fossem medidas simultaneamente as taxas de arejamento de ambos os circuitos, havendo posteriormente a oportunidade de comparar o arejamento e dissipar quaisquer diferenças que existissem de um circuito para o outro. Após esta instalação, ambos os sensores (1º sensor – “baixo”; 2º sensor – “cima”) foram integrados no *Brewmaxx* (ilustrado na figura 14), que é o sistema de controlo (desenhado pela ProLeiT) do processo cervejeiro utilizado na SCC. As várias etapas do processo cervejeiro implementado na fábrica de Vialonga são automatizadas, controladas e monitorizadas através dos componentes de software do *Brewmaxx*. Este software permite depois obter *reports* detalhados, com os dados referentes às diferentes etapas do processo, como exemplificado na figura 15.

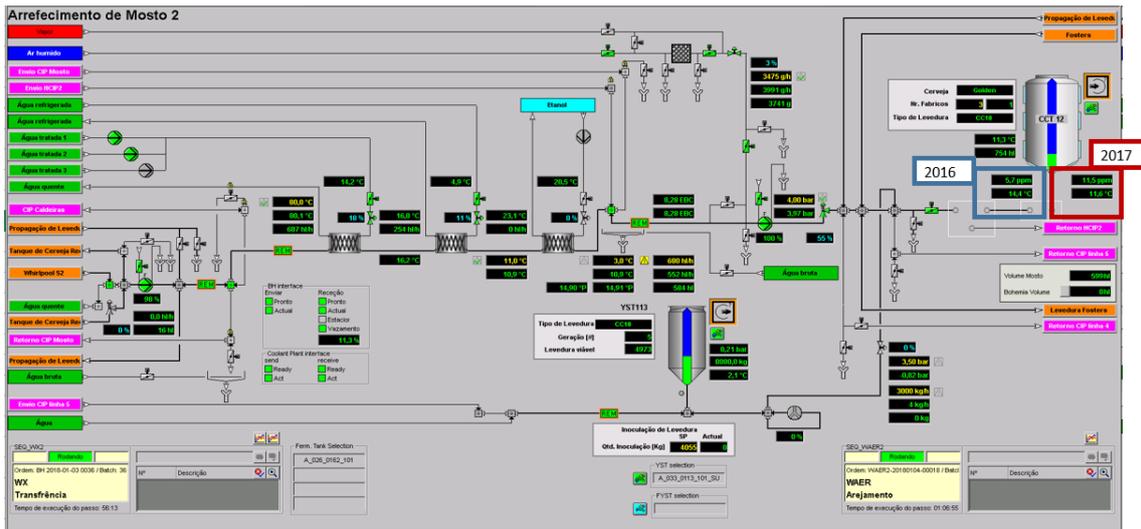


Figura 14 - Etapa de arrefecimento do mosto exemplificada no Brewmaxx, destacando-se os dois sensores.

Arrefecimento do Mosto 1

Data	Fabrico	Mosto	CC OT	Volume (hL)	Extrato (°P)	Cor (EBC)	O2 Baixo (ppm)	O2 Cima (ppm)	Cerv Rec (hL)	Tempo Total (hh:mm)
27-12-2017 11:38	BH 2017-12-26 2827	Sagres Branca 16,7	CC3 - Cilindro conical tank	620	15,15	13,274	9,45	8,58	15,4	01:28
27-12-2017 2:26	BH 2017-12-26 2829	Sagres Branca 16,7	CC3 - Cilindro conical tank	623	15,35	13,739	11,01	0,62	15,6	01:27
27-12-2017 4:50	BH 2017-12-26 2831	Sagres Branca 16,7	CC3 - Cilindro conical tank	631	15,35	16,668	11,75	0,52	15,8	01:28
27-12-2017 7:30	BH 2017-12-26 2833	Sagres Branca 16,7	CC3 - Cilindro conical tank	635	15,32	18,207	11,99	4,17	15,9	01:29
27-12-2017 10:04	BH 2017-12-26 2835	Sagres Branca 16,7	CC3 - Cilindro conical tank	633	15,32	20,667	11,99	3,92	15,9	01:29
28-12-2017 12:44	BH 2017-12-26 2837	Sagres Branca 16,7	CC3 - Cilindro conical tank	631	15,35	21,862	-0,22	3,82	15,8	01:33
28-12-2017 3:25	BH 2017-12-26 2839	Sagres Branca 16,7	OT1 - Asahi tank	634	15,27	14,696	7,09	8,19	15,9	01:35
28-12-2017 6:05	BH 2017-12-27 2841	Sagres Branca 16,7	OT1 - Asahi tank	636	15,24	15,988	6,76	9,04	16,0	01:30
28-12-2017 8:48	BH 2017-12-27 2843	Sagres Branca 16,7	OT1 - Asahi tank	635	15,29	17,202	6,26	9,04	16,0	01:35
28-12-2017 12:28	BH 2017-12-27 2845	Sagres Preta	CC1 - Cilindro conical tank	661	13,20	110,162	9,19	12,23	35,0	01:42
28-12-2017 12:28	BH 2017-12-27 2845	Sagres Preta	CC1 - Cilindro conical tank	661	13,20	110,162	9,19	12,23	35,0	01:42

Figura 15 - Exemplo de um report gerado pelo brewmaxx para o arejamento do mosto.

Com a integração dos sensores, foi igualmente alterada a automação, de modo a que o arejamento seja condição fundamental ao passo de arrefecimento do mosto. Com esta alteração, se ocorrer algum problema com a linha do ar (oscilações no caudal de injeção de ar comprimido, obstrução do circuito do ar, válvulas desreguladas, etc.), o sistema para automaticamente a linha de mosto, sendo que a fase de arrefecimento do mosto não prossegue até que as condições normais estejam repostas.

O controlo do arejamento através da medição do O₂ dissolvido no mosto pelos sensores representa um grande avanço tecnológico para a SCC no mundo da indústria cervejeira, uma vez que este método inovador ainda é muito pouco explorado neste ramo. Apesar disso, revelou prontamente as suas vantagens, tendo em conta que permite um controlo minucioso do processo e elimina a dependência da recolha de resultados pelos operadores, pelo facto de os sensores estarem integrados na automação. O facto de muitas outras empresas não usarem esta tecnologia inovadora faz crescer a importância de a SCC ser pioneira, e permite atuar de uma forma mais rápida e eficaz perante as falhas que ocorrerem.

2.1.2. Lançamento da equipa

Após estes ensaios iniciais, e apesar de se conseguir aproximar o arejamento em todos os fabricos de um fermentador, existe ainda alguma margem para otimizar este campo. Para tal, foi criada uma equipa Kaizen que se dedicou a progredir neste campo, estudando melhorias possíveis no sistema de arejamento, já que a própria medição da taxa de arejamento não era feita desde a semana 38 do ano 2017, quando foram feitas alterações à receita.

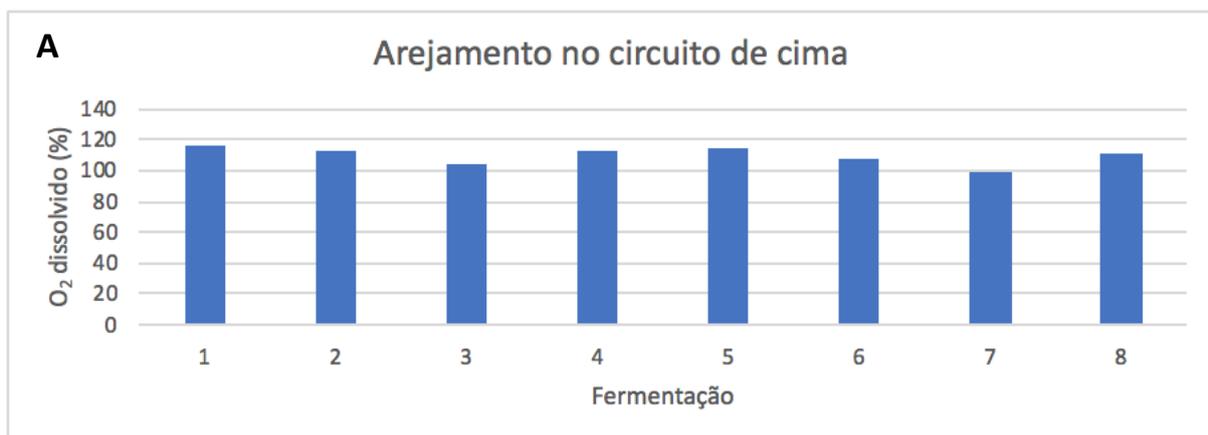
A equipa foi constituída com o intuito de colmatar algumas falhas ainda existentes no sistema de arejamento, e era formada por:

- Pedro Correia (Trainee) – Análise de dados e tratamento de resultados
- José Caneira (*Team Leader Adegas*) – Operacionalização
- Fábio Santos (Operador Adegas) – Operacionalização
- Hélder Jorge (Serralheiro Especialista) – Implementação mecânica

2.1.3 Casos analisados

2.1.3.1 Espumagem excessiva de levedura

Após uma primeira análise do histórico de dados dos primeiros três meses do ano civil 2018, observaram-se algumas diferenças nos valores de O₂ medidos pelo sensor situado no circuito de baixo e no circuito de cima, onde se verificava que o arejamento do mosto no circuito de cima era mais eficiente e, portanto, a dissolução de O₂ era superior. Ainda para mais, tendo em conta os valores especificados como ótimos para o O₂ dissolvido (entre 9 e 11 ppm), os valores de O₂ do circuito de cima estavam maioritariamente dentro do limite de especificação, enquanto que os valores medidos para o circuito de baixo estavam fora desse mesmo limite, como observado na Figura 16:



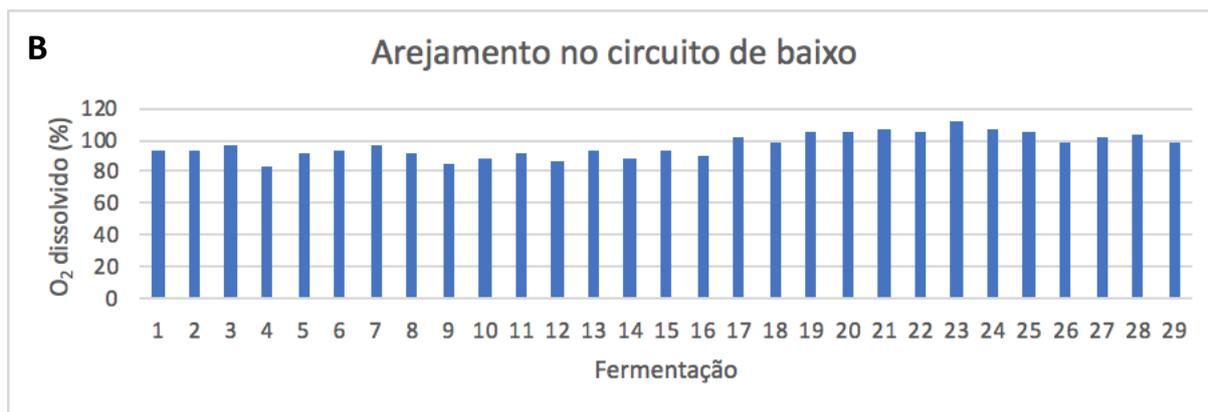


Figura 16 - Níveis de O₂ dissolvido no mosto que circula por cima (16A) e por baixo (16B). Escala em percentagem comparativamente a um valor ótimo de arejamento (100%)

Para se estudar esta diferença existente entre ambos os circuitos, houve a necessidade de repor a condição básica dos equipamentos, de forma a dissipar qualquer erro de medição que compromettesse a veracidade dos resultados. Assim sendo, quando se verificou a condição dos sensores, foi visível o desgaste do sensor mais antigo, e após análise do manual do medidor de O₂, percebeu-se que teria de ser redigido um plano de calibração e manutenção dos sensores, em períodos fixos, de modo a manter a integridade das medições efetuadas com os respetivos equipamentos. Deste modo, foi construída uma LUP, para providenciar aos operadores das Adeegas a formação necessária para a realização de uma calibração a ar 100% húmido dos sensores a cada seis meses (Anexo I). A manutenção dos mesmos fica a cargo da empresa fornecedora dos equipamentos, e será feita periodicamente, uma vez por ano.

Após ter sido reposta a condição básica dos equipamentos, procedeu-se então à análise dos resultados de arejamento dos fermentadores anteriores e posteriores à referida calibração. De acordo com o estado físico dos sensores observado aquando da calibração, era de esperar que após a manutenção dos mesmos, os resultados obtidos para o ar dissolvido no mosto para os circuitos de baixo e de cima se aproximassem e refletissem uma realidade mais fiável do O₂ que efetivamente era dissolvido após arejamento. Os resultados estão demonstrados na Figura 17.

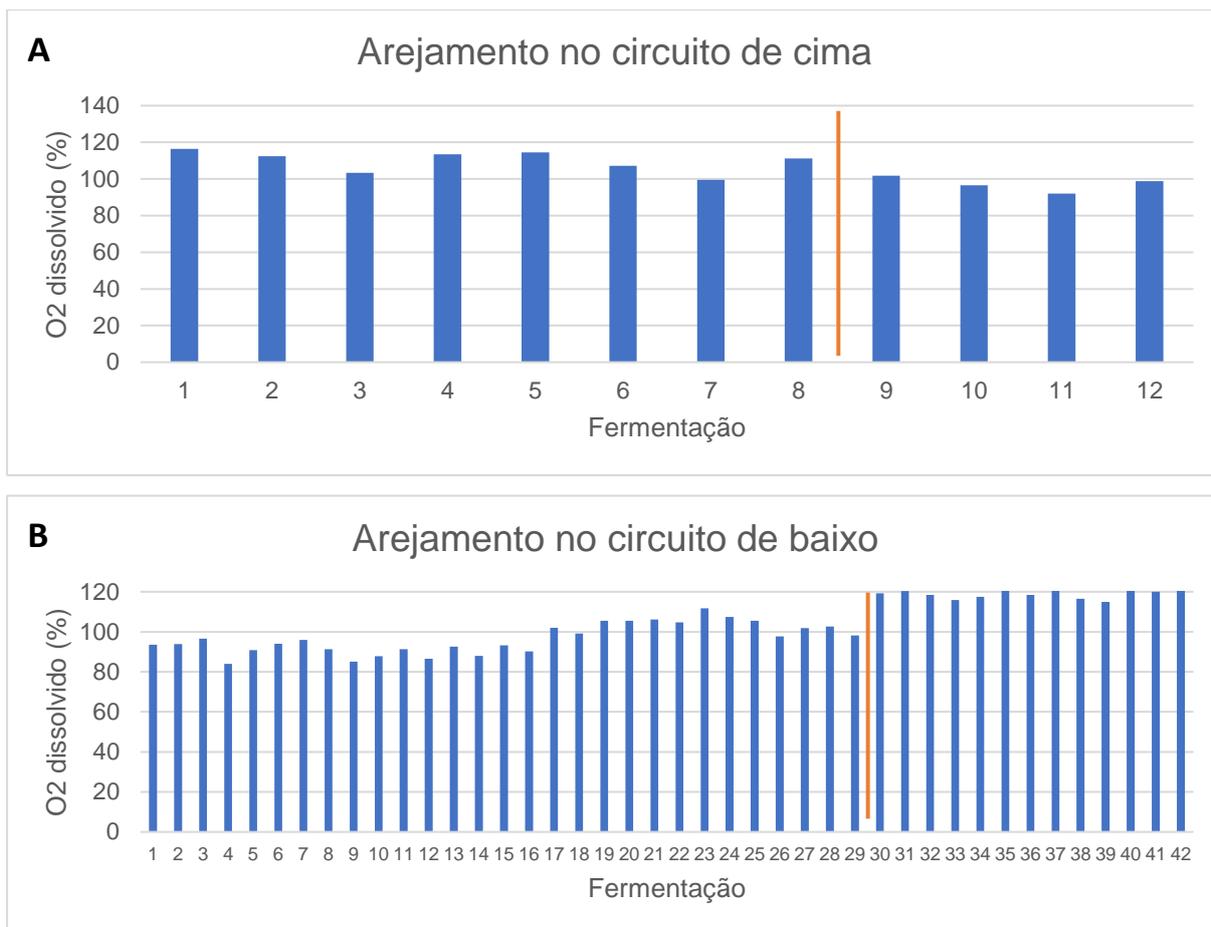


Figura 17 -Representação do histórico de dados do arejamento para o circuito de cima (17A) e de baixo (17B); em ambos os gráficos, a data da calibração foi marcada com a barra laranja. Escala em percentagem comparativamente a um valor ótimo de arejamento (100%)

Como é possível observar, a manutenção e calibração dos sensores de O₂ dissolvido surtiram o efeito pretendido, repondo a exatidão e precisão dos resultados. Esta correção de valores foi muito mais evidente para o circuito de baixo, onde a média de valores após calibração foi bastante mais elevada. No circuito de cima, os valores médios entre fermentadores mantiveram-se idênticos.

2.1.3.2. Controlo de levedura

De entre os parâmetros que demonstram a qualidade do mosto, a taxa de multiplicação é um dos que mais reflete a qualidade do arejamento do mosto, uma vez que se houver arejamento excessivo, a dissolução de O₂ no mosto pode ser extremamente eficiente mas se não houver uma zona de *venturi* ou existirem anomalias na velocidade e/ou caudal do mosto isto não acontece. No caso de um arejamento excessivo, a levedura multiplicar-se-à em demasia, levando a uma fermentação ineficiente, já que os açúcares fermentescíveis não serão fermentados pela levedura, mas sim metabolizados por esta. Desta forma, é correto afirmar que uma taxa de multiplicação de levedura elevada reflete um arejamento excessivo.

Após análise do histórico de resultados da taxa de multiplicação da levedura usada no processo cervejeiro na SCC, foi observado que este parâmetro era calculado de forma pouco precisa, e havia margem para otimização.

O cálculo previamente definido para a taxa de multiplicação de levedura era dado pelo quociente entre a quantidade de levedura recolhida no fim da fermentação (incluindo purgas) e o valor médio de levedura inoculada por fermentador.

$$\text{taxa de multiplicação de levedura (kg)} = \frac{\text{levedura recolhida}}{\text{massa média de levedura inoculada}} \quad (1)$$

Este cálculo não gerava, em certos casos, resultados fiáveis, já que, por exemplo, para uma receita diferente de Sagres Branca que requeresse menos fabricos do que o usual, o valor de levedura inoculada era muito inferior ao valor médio. Mesmo para a mesma receita, a precisão dos resultados era afetada, visto que havia sempre desvios em todos os fermentadores em relação a esse valor pré-definido como padrão de levedura inoculada.

Deste modo, corrigiu-se a forma de cálculo de forma a particularizar cada fermentador e utilizar o valor correto de levedura que foi inoculada nesse mesmo fermentador.

$$\text{taxa de multiplicação de levedura (kg)} = \frac{\text{levedura recolhida}}{\text{levedura inoculada}} \quad (2)$$

Após a alteração descrita, foram analisados os resultados da taxa de multiplicação de levedura usando a forma que existia por definição na SCC e a forma otimizada:

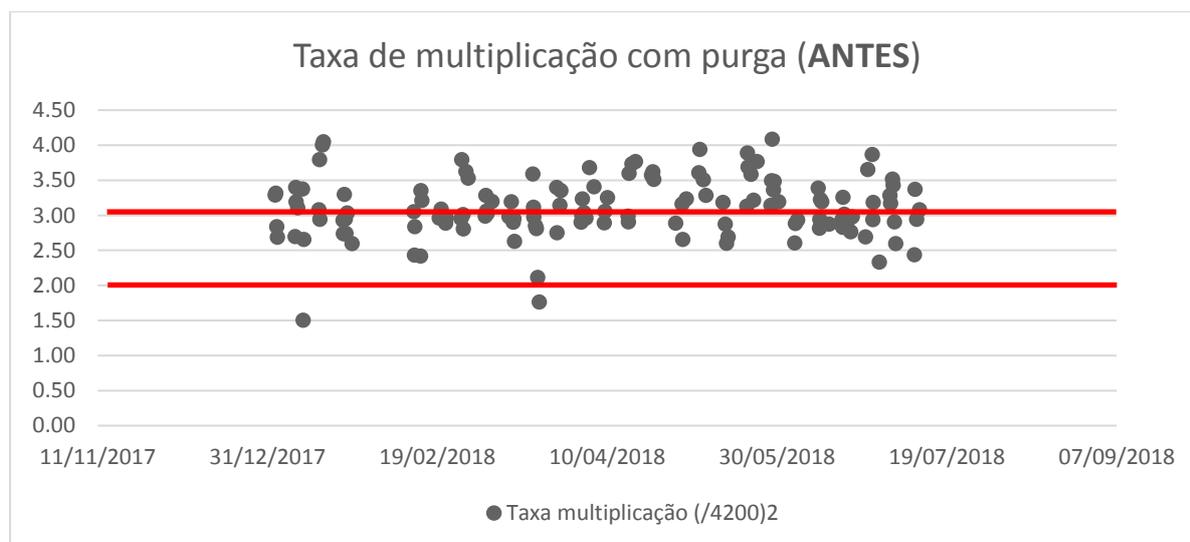


Figura 18 – Resultados de taxa de multiplicação que se registavam com a fórmula de cálculo antiga, usando o valor médio de massa de levedura inoculada.

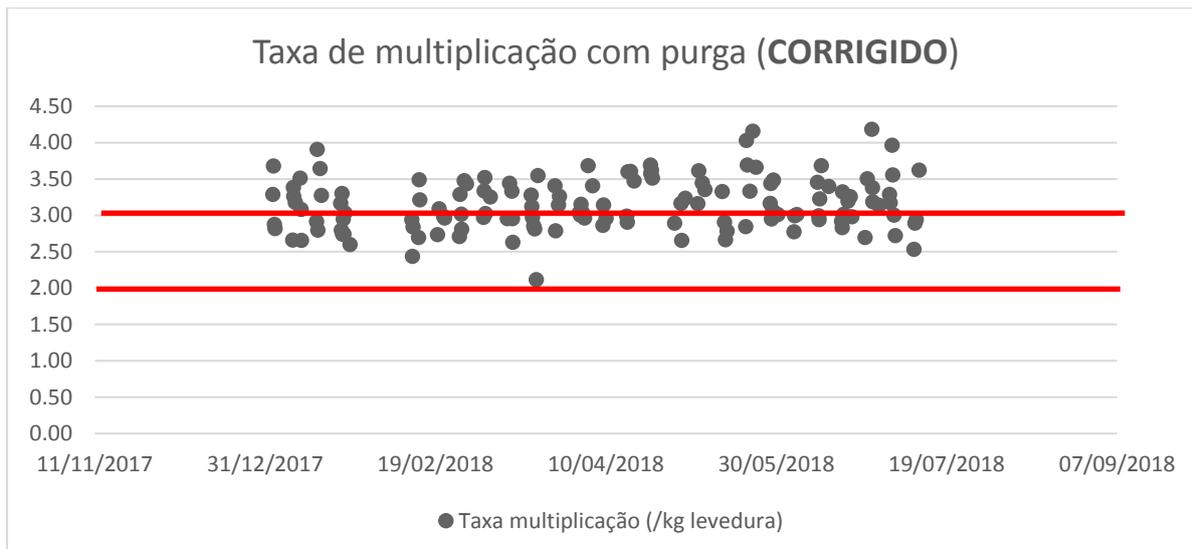


Figura 19 - Resultados de taxa de multiplicação que se registavam com a nova fórmula de cálculo, usando o valor real de massa de levedura inoculada por fermentador.

Após a otimização, a percentagem de valores dentro da especificação definida como aceitável decresceu de 42,3% para 38,7%, e é visível no gráfico que os valores passaram a estar menos dispersos, o que indica uma maior precisão dos resultados. Também por análise dos resultados obtidos anteriormente, em conjunto com os resultados de O₂ dissolvido pós-calibração, existe uma clara indicação de que o arejamento do mosto era excessivo, sendo, portanto, necessárias medidas para reduzir a quantidade de ar injetado na linha de arrefecimento do mosto.

2.1.3.3. Otimização do arejamento

Tendo em conta o excessivo arejamento do mosto verificado através da análise dos resultados obtidos anteriormente, foi feito um estudo para perceber em que medida se poderia otimizar este parâmetro, de modo a obter valores de O₂ dissolvido dentro da especificação estabelecida para tal, e sem que implicasse uma desestabilização da levedura, refletida nos seus parâmetros de qualidade, tais como a taxa de multiplicação, conteúdo em células mortas (já que com um baixo conteúdo de ar, a levedura não teria ar suficiente para sobreviver), população viável, diacetilo (baixo arejamento gera um *lag time* superior na fermentação e o aparecimento deste *off-flavour*) e SO₂ final (levedura em mau estado de conservação devido à presença de CO₂ que não é removido, fazendo com que a levedura entre em contacto com o mosto e utilize os nutrientes disponíveis para se reproduzir a uma grande taxa, formando mais SO₂, que é um produto intermediário do metabolismo da levedura).

O arejamento existente estava definido para os seis fabricos do fermentador e gerava um mosto excessivamente arejado (padrão). Assim, foi feita uma redução em proporção, com base nos parâmetros definidos como ótimos para o arejamento do mosto sendo que foram testados dois *set-points* de arejamento diferentes - teste 1 e teste 2. A conversão foi feita para ambos os circuitos, e é apresentada nos gráficos das figuras 20 e 21 na forma de percentagem comparativamente a um valor ótimo de arejamento (100%).

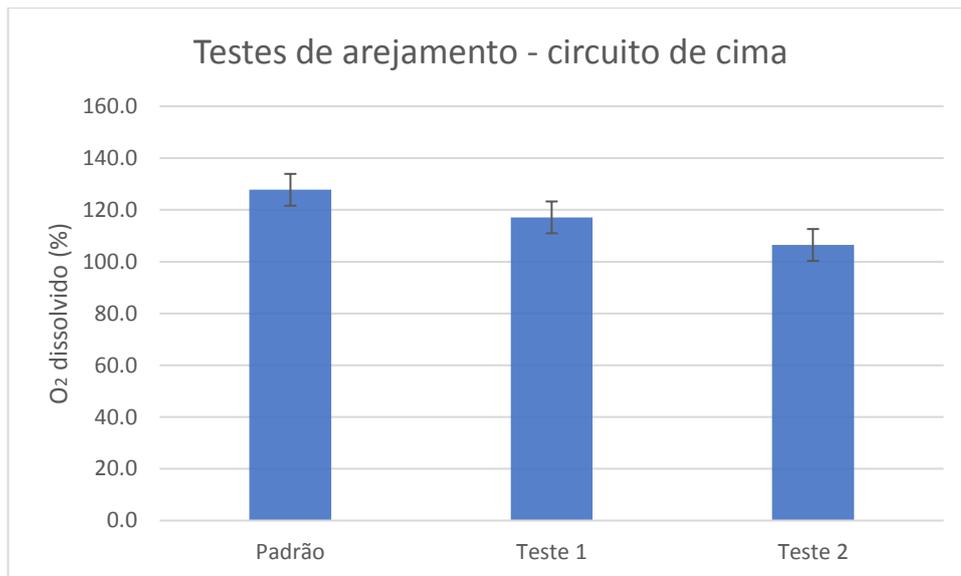


Figura 20 – Testes com set-points de arejamento diferente para o circuito de cima: realização de padrão com arejamento imposto por standard; teste 1 e teste 2, ambos com set-points diferentes aplicados. Escala em percentagem comparativamente a um valor ótimo de arejamento (100%)

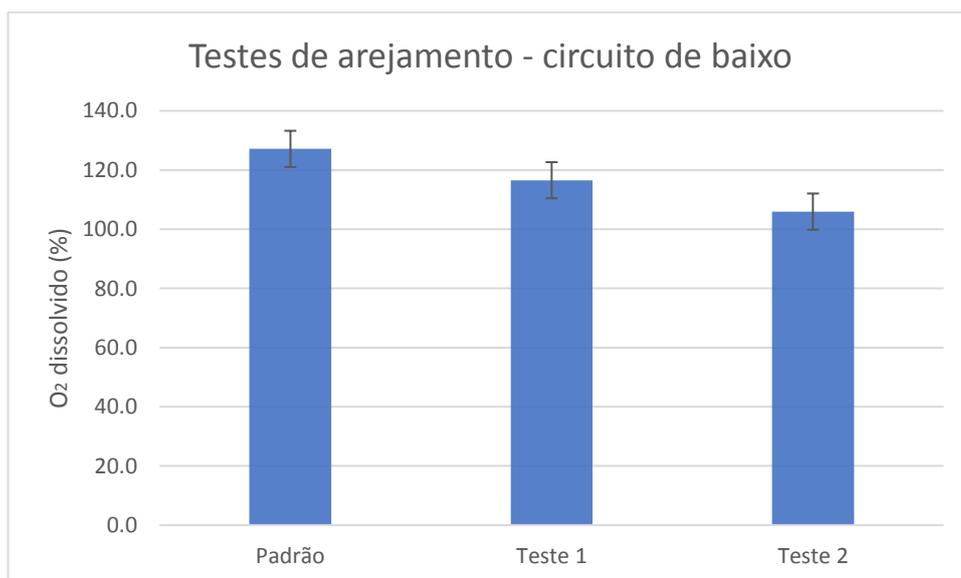


Figura 21 - Testes com set-points de arejamento diferente para o circuito de baixo: realização de padrão com arejamento imposto por standard; teste 1 e teste 2, ambos com set-points diferentes aplicados. Escala em percentagem comparativamente a um valor ótimo de arejamento (100%)

Após calcular os valores médios, apenas no teste 2 se atingiu um valor de O₂ dissolvido dentro da especificação. Assim sendo, o novo *set-point* de arejamento (teste 2) foi testado em seis fermentadores de cada sala e para ambos os circuitos, de onde se obtiveram os seguintes resultados, em comparação com o padrão:

Tabela 4 – Resultados de O₂ dissolvido e qualidade da levedura para o padrão e ensaio (6 testes), relativos à Sala 1: média O₂ (em ppm), taxa de multiplicação, células mortas (%), SO₂, população viável (x10⁶células/mL) e diacetilo.

	Sala 1							
	Média O ₂	Taxa multiplicação	Células Mortas	SO ₂	População viável	Diacetilo		
						7º Dia	8º Dia	9º Dia
Padrão	12 - 14	3 - 4	5 - 7	OK	10 - 12	NOK	OK	OK
Ensaio	9 - 11	2 - 3	4 - 6	OK	12 - 14	NOK	OK	OK
σ (ensaio)	±0,14	±0,16	±1,50	-	±1,45	-	-	-

A redução do arejamento da linha de arrefecimento do mosto proporcionou a redução dos valores de O₂ dissolvido no mosto cervejeiro. Como observado na tabela 4, o arejamento existente era excessivo e gerava um mosto sobre arejado. Com o novo *set-point* de ar injetado, conseguiu aproximar-se o arejamento do mosto para os valores especificados como ótimos, sendo que três dos fermentadores de ensaio atingiram esses valores, enquanto os restantes três ficaram muito próximos.

Por observação da tabela 4 consegue observar-se que houve uma melhoria significativa na população viável, taxa de multiplicação e conteúdo em células mortas após fermentação. Este facto é indicativo de que o arejamento excessivo que anteriormente se verificava se revelou tóxico para a levedura, sendo que além de esta crescer excessivamente, o conteúdo em células mortas também era elevado, e acima do aceitável (7%).

Os níveis de diacetilo eram eficientemente reduzidos até ao 8º dia de fermentação, o que se manteve dentro dos limites aceitáveis após a realização dos ensaios, bem como o SO₂ formado no mosto cervejeiro, o que é indicador de uma boa fermentação, sem presença de compostos secundários indesejáveis.

Tabela 5 – Resultados de O₂ dissolvido e qualidade da levedura para o padrão e ensaio, relativos à Sala 2: média O₂ (em ppm), taxa de multiplicação, células mortas (%), SO₂, população viável (x10⁶células/mL) e diacetilo.

	Sala 2							
	Média O ₂	Taxa multiplicação	Células Mortas	SO ₂	Pop viável	Diacetilo		
						7º Dia	8º Dia	9º Dia
Padrão	12 - 14	3 - 4	6 - 8	OK	15 - 17	NOK	NOK	NOK
Ensaio	9 - 11	2 - 3	6 - 8	OK	12 - 14	NOK	OK	OK
σ (ensaio)	±0,18	±0,23	±1,27	-	±1,55	-	-	-

Os resultados obtidos para a sala 1 são reprodutíveis para a sala 2, onde a redução do arejamento produziu resultados ainda mais positivos, já que todos os seis ensaios realizados geraram valores ótimos de O₂ dissolvido no mosto, em contraste com os fermentadores padrão.

Apesar de não se terem verificado melhorias significativas ao nível das células mortas e de diacetilo e SO₂ formado no final da fermentação (ainda assim é positivo não haver alterações), verificou-se uma ligeira melhoria na quantidade de população viável remanescente após o processo fermentativo. Ainda assim, registou-se um resultado menos positivo referente ao fermentador cilindro-

cónico CC6, onde a baixa população viável se deveu ao facto de a levedura ser de 6ª geração e, portanto, aumenta a probabilidade de mutação. Deste modo, a fermentação terá um perfil diferente daquilo que era expectável. Geralmente, a mesma levedura é apenas utilizada cinco vezes (ou seja, até à 5ª geração), mas devido a uma propagação ineficiente que gerou defeitos de qualidade após a 1ª fermentação, esta nova levedura foi destruída, tendo então de se recorrer ao uso da levedura antiga em mais um fermentador.

No geral, pode então concluir-se que a redução do arejamento do mosto foi bastante positiva, traduzindo-se em fermentações mais eficientes e na manutenção de uma levedura mais saudável e consistente. O novo *set-point* de arejamento foi introduzido no *brewmaxx* em alteração do que estava anteriormente imposto na receita.

2.1.3.4. Otimização da propagação

Para se obter a quantidade de levedura suficiente para realizar a fermentação de cerveja em cada fermentador, a levedura tem de ser propagada. A propagação é um processo através do qual se semeia uma estirpe de levedura, numa pequena quantidade de mosto estéril, deixando-se multiplicar, acrescentando sucessivamente quantidades maiores de mostos. O facto de se começar por volumes muito baixos faz com que a levedura atinja a saturação num curto espaço de tempo, e a adição de mosto dá-se para que a levedura, na sua fase exponencial, tenha mais substrato disponível para continuar a crescer.

Este processo é iniciado no laboratório em dois balões estéreis com uma pequena quantidade de mosto e inicia-se com dois *slopes* de levedura em cada balão. Após até 48 horas é transferido para o *Carlsberg flask*, multiplicando a levedura presente no mosto esterilizado. Cerca de 48h depois, o conteúdo do *Carlsberg flask* segue para um fermentador, com capacidade cerca de 100 vezes superior, onde é agitado e arejado por 3 a 4 dias, de forma a garantir as melhores condições de fermentação, sendo posteriormente transferido para um fermentador diferente, com capacidade 10 vezes superior ao anterior, onde se dá a última fase de multiplicação da levedura, durante 5 dias. A quantidade de levedura é então suficiente para seguir para um fermentador, onde se realizará a fermentação zero. O mosto é continuamente arejado em todas as fases da propagação.

Após análise do histórico de dados, era visível uma oportunidade de melhoria na propagação: após fermentação zero, a população viável existente no fermentador era muito baixa, estando abaixo dos valores especificados como ótimos (superior a 14×10^6 células/ml), o que era indicador de que o *set-point* de arejamento do mosto não era o mais adequado (vermelho). De modo a melhorar a capacidade fermentativa da levedura na fermentação subsequente, foi alterado o *set-point* de arejamento, para que o O_2 fosse mais facilmente dissolvido no mosto, e conseqüentemente a levedura tivesse mais O_2 para consumir, contribuindo para um maior crescimento desta. Foram efetuados dois testes com *set-points* distintos (amarelo e azul), que se traduziram nos resultados apresentados de seguida:

Tabela 6 - Parâmetros de qualidade do arejamento para um arejamento padrão (vermelho), ensaio amarelo, e ensaio azul. Resultados em percentagem comparativamente a um valor ótimo (100%).

	Taxa de multiplicação (%)	População viável (%)	Consistência
Média	87,5	✘ 69,5	OK
	83,5	⚠ 97,3	OK
	81,5	✘ 71,4	OK

Quando comparados os resultados, consegue concluir-se que o ensaio amarelo gera uma população de levedura viável superior ao que o que era obtido com o *set-point* anterior, e muito próximo do valor ótimo. Por sua vez, a consistência foi sempre mantida dentro dos valores especificados como corretos para os diferentes arejamentos com *set-point* diferente, pelo que não pode ser considerado como um fator diferenciador, mas confirma que é atingido mais um parâmetro de qualidade.

Tendo em conta os resultados obtidos para a propagação da levedura, foi então estabelecido o novo *set-point* de arejamento, segundo o ensaio amarelo, nesta fase do processo e alterado o seu valor na receita definida no *Brewmaxx*.

Esta otimização proporciona uma propagação mais eficaz, obtendo-se uma levedura muito mais consistente para as fermentações consequentes, o que faz com que a fase de latência da levedura (em que esta está a crescer antes de começar a fermentar o extrato) seja mais curta, acelerando portanto o processo fermentativo, e por consequência, dando a oportunidade de se aumentar a produção. (Lodolo *et al.*, 2008).

Sumariamente, a otimização do arejamento gerou resultados muito positivos e promissores. Não só foi melhorada a eficiência da dissolução de O₂ no mosto, como também a propagação de levedura permitiu a obtenção de uma população mais robusta, sem prejudicar a sua consistência, e, portanto, com maior capacidade fermentativa. A efetividade desta otimização ficou traduzida no melhoramento dos parâmetros qualitativos da levedura, como taxa de multiplicação e células mortas, e permitiu atingir resultados de arejamento dentro do intervalo especificado como ótimo na SCC.

2.2. Cor

A cor é uma percepção visual humana que utiliza uma pequena parte do espectro eletromagnético (380–780nm). A percepção de cores existe em duas fases. A primeira é um fenômeno puramente físico que requer três elementos: uma fonte de luz, um objeto e um detetor (um olho, um diodo, etc.), enquanto a segunda fase é um processo complicado e incompletamente conhecido pelo qual o olho humano transmite informações. que o cérebro irá interpretar como cor (Hari *et al.*, 1994). Para avaliar a cor de um objeto, ele deve ser iluminado e, ao interagir com este, a luz incidente pode ser transmitida, refletida, refratada, absorvida e/ou dispersa. Com amostras líquidas que não são opacas, como é geralmente o caso da cerveja, o principal interesse reside em como a luz é transmitida e absorvida pelo produto, em oposição à luz refletida. O comprimento de onda da luz absorvida por um meio líquido é tipicamente complementar ao percebido. Por exemplo, um objeto que é percebido como verde absorverá a luz que é vermelha e vice-versa. No entanto, esse modelo simplista funciona bem apenas quando o material exibe um máximo de absorvência num determinado comprimento de onda. Se todos os comprimentos de onda de luz forem absorvidos, o produto parecerá preto e, se nenhuma das luzes for absorvida, parecerá incolor (se não ocorrer dispersão, como na água filtrada) ou branco (se houver dispersão substancial, como no leite). A lei de Lambert-Beer prevê a quantidade de luz absorvida em meio líquido:

$$A = \alpha \cdot l \cdot c \quad (3)$$

onde,

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (4)$$

A = absorvência; α = absortividade molar; k = coeficiente de extinção; λ = comprimento de onda; l = espessura do material; c = concentração do material.

A lei de Lambert-Beer é válida para concentrações mais baixas, na ausência de dispersão significativa, e somente se forem usados comprimentos de onda individuais. Uma implicação desta lei é a igual absorção de luz quando esta passa através de espessuras iguais de um certo material, e que ao reduzir o comprimento do caminho percorrido para metade, também é reduzida a absorbância para metade. Ao medir materiais com absorvência muito alta, é preferível reduzir o comprimento do caminho em vez de diluir para reduzir a concentração, pois o diluente pode afetar a química do sistema (força do tampão, por exemplo) e alterar a cor (Smythe e Bamforth, 2000).

A gama de cores da cerveja é ampla, desde lagers de tom amarelo pálido a stouts pretas (Tabela 7). Alguns estilos que utilizam maltes caramelo resultam em tons avermelhados e âmbar. Independentemente do estilo, os espectros de transmissão e absorção não mostram a intensidade máxima (Figuras 22 e 23). Consequentemente, a seleção de um único comprimento de onda foi inicialmente implicada pelo estilo de cerveja prevalente que está a ser medido.

Tabela 7 - Absorvância a 430nm para medições de cor da cerveja é o método utilizado pela European Brewery Convention (EBC) (EBC, 2004).

Estilo	Cor	EBC
American/European light lager	Amarelo	4-8
American/European 100% Pilsner (Jurado, 2002a)	Dourado	6-18
British pale ale	Âmbar	20-30
Munich-style helles	Âmbar	6-30
Red Beers (Jurado 2002b)	Castanho/âmbar/avermelhado	18-108
American porter	Castanho escuro	40-60
Irish stout	Preto	70-140

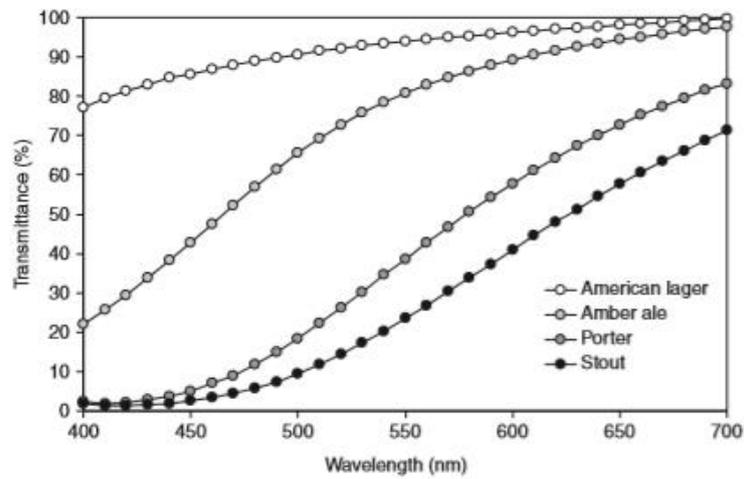


Figura 22 – Valores de transmitância dos diferentes estilos de cerveja (american lager, amber ale, porter, stout) em função do comprimento de onda.

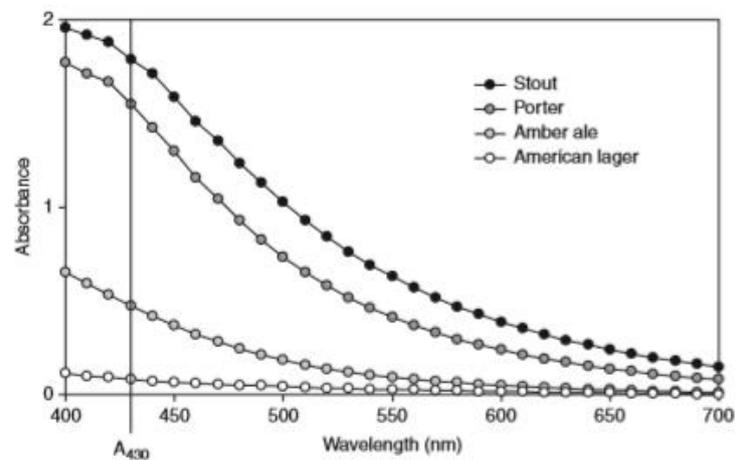


Figura 23 - Valores de absorvância dos diferentes estilos de cerveja (american lager, amber ale, porter, stout) em função do comprimento de onda.

Entre os vários ingredientes utilizados para a produção de cerveja, a cor da cerveja é determinada principalmente pela seleção dos grãos usados no processo e, mais especificamente, pelo tipo de processamento que esses grãos sofrem, ainda que a adição de fruta também possa, nos casos em que se aplique, ter um grande impacto. A cevada contém concentrações muito baixas de substâncias pigmentadas, e é o processo de maltagem que resulta na formação de cor. As fases de germinação e secagem do processo de maltagem determinam a extensão da formação de cor a partir das reações de Maillard e, em alguns casos, reações de caramelização e pirólise. Para além destas reações de formação de cor, conduzidas pelo calor, a oxidação de polifenóis derivados da casca de cevada ou matéria vegetativa do lúpulo pode contribuir para a formação de cor durante o armazenamento/envelhecimento da cerveja.

Todos os maltes possuem um certo grau de cor, desde amarelo pálido (malte Pilsner) levemente desidratado até malte extremamente escuro (malte torrado) (Tabela 7). Do ponto de vista da adição de cor à cerveja, os maltes escuros e especiais podem ser categorizados em três grupos: cor, caramelo e malte torrado (Coghe *et al.*, 2003). Os maltes coloridos (maltes altamente secos) são os únicos maltes produzidos num forno. A extensão da formação de cor é devida principalmente ao tempo e temperatura durante a fase de cura. Estes maltes fornecem cores amarelas a castanhas ao mosto (Tabela 8).

Tabela 8 – Caracterização das propriedades físicas inerentes a cada malte: cor (em °EBC), aparência, tipo de cerveja gerada e sabor associado.

Tipo de malte	Cor (EBC)	Aparência	Tipo de cerveja	Sabor
Maltes padrão				
Trigo	1	Palha pálida	Weizen	Malte
Pale lager	2	Amarelo pálido	Lagers leves	Cereal, DMS
Pale ale	3	Amarelo, dourado	Ales	Biscoito, tostado
Vienna	4	Âmbar	Lagers escuras	Caramelo, noz
Maltes de cor/caramelo				
Munich	10-20	Âmbar, castanho	Amber beer	Malte intenso
Cara pils	5-15	Pálido	Lagers	Doce, biscoito
Caramelo/Crystal	20-120	Âmbar, castanho, vermelho	Ales e lagers	Caramelo, noz, torrado
Maltes torrados				
Chocolate	350	Castanho, preto	Porters e stouts	Café
Preto	400-600	Preto	Porters e stouts	Neutro
Cevada torrada	300-800	Preto	Irish stouts	Amargo, queimado

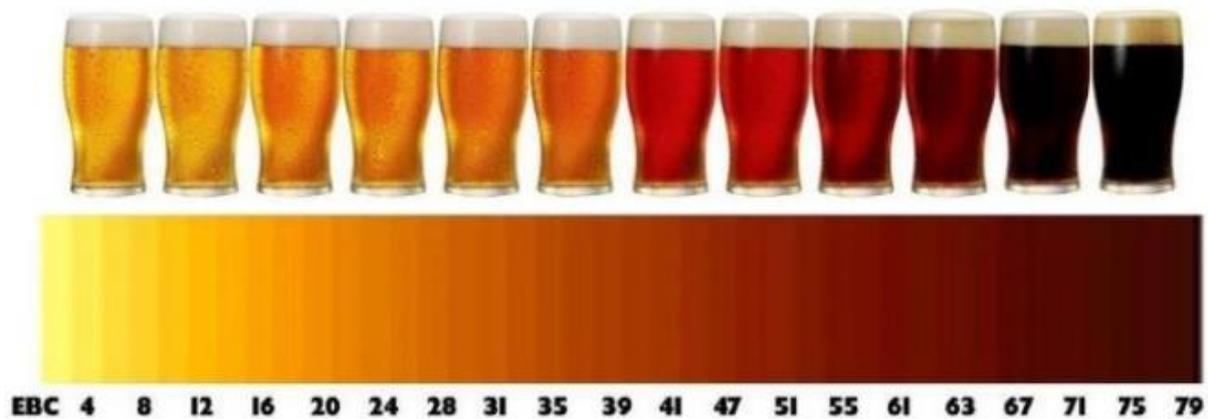


Figura 24 – Escala de cor EBC (Adaptado de <https://cervejeirauai.com/2018/02/20/srm-ou-ebc-escalas-que-definem-a-cor-da- cerveja/>).

A medição da cor do mosto em Vialonga é feita com recurso a dois medidores de cor Optek AF26, cada um instalado numa das salas, imediatamente antes do painel existente na fase de arejamento do mosto. Os sensores estão instalados na linha, perpendicularmente à tubagem, e são compostos por uma fonte emissora, que contém uma lâmpada que emite luz para o mosto, e uma fonte recetora instalada no lado oposto da tubagem, que recebe a luz que passa pelo mosto e mede os valores de absorvência e turvação do mosto, a comprimentos de onda diferentes.

Ambas as fontes são alimentadas por ar comprimido com regulação de pressão para cada janela, mantendo-se uma pressão de 0,1 bar, de modo a evitar fenómenos de condensação na lente, que pode interferir com as leituras. A linha do ar é composta por um secador, que seca o ar, um filtro, que filtra quaisquer partículas que poderiam potencialmente contaminar a linha, e um manómetro, com escala 0-1 bar, para monitorização das pressões de trabalho. A montagem dos medidores de cor está representada na figura 25.

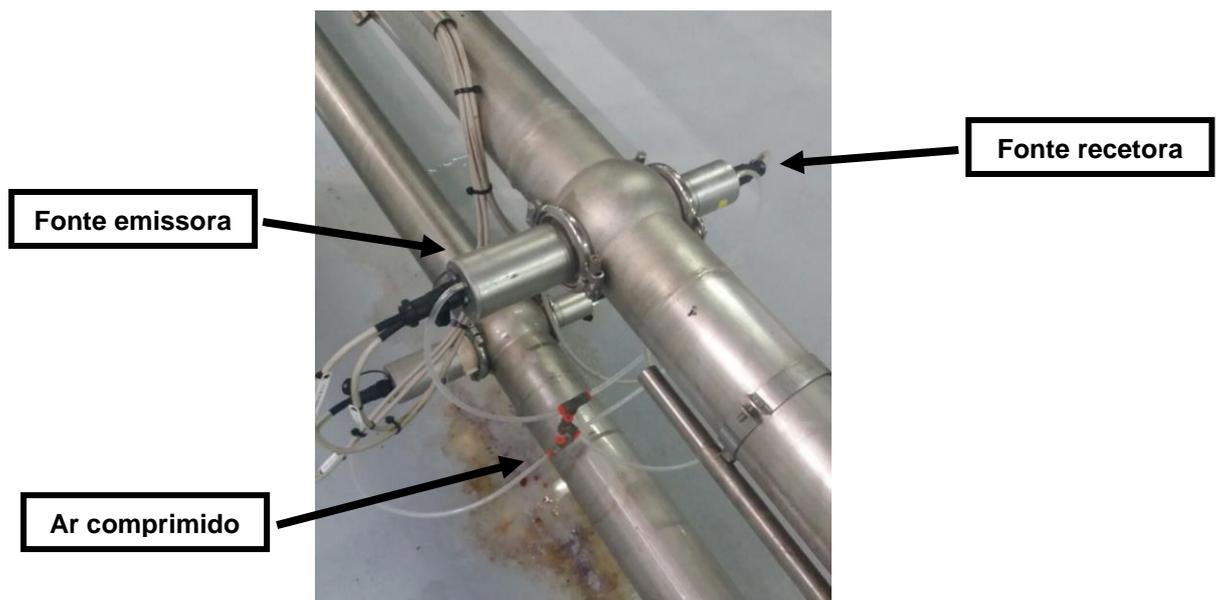


Figura 25 – Instalação do medidor ótico de cor na linha de arrefecimento do mosto na SCC.

Após receção do sinal, através da intensidade de luz medida, a fonte recetora possui dois detetores que medem parâmetros distintos – o detetor A mede o valor de cor em CU (*color units*), a 430 nm, enquanto o detetor C mede a turvação em CU, a 700 nm. De seguida, é calculado um valor ABS pela diferença A-C, servindo de valor corrigido de cor, descontando a turvação. O valor Cor (EBC) final é calculado com base no valor ABS, usando um fator de conversão. Os displays foram configurados de modo a mostrar estes quatro parâmetros simultaneamente, de modo a facilitar a recolha de dados para calibração dos equipamentos e o *troubleshooting* que for necessário.

Os sensores são calibrados com recurso a retas de calibração obtidas através da obtenção de resultados de medições de cor em laboratório. Os valores de ganho e de *offset* são introduzidos em cada um dos aparelhos, de modo a aproximar os valores obtidos na linha aos valores obtidos em laboratório, e eliminar quaisquer diferenças que levem ao aparecimento de *outliers*.

A obtenção de resultados de cor é também feita no laboratório da SCC, classificado como um *2 star quality laboratory* pela Heineken, que reconhece o trabalho desenvolvido nesta unidade e garante a segurança dos resultados laboratoriais obtidos, podendo ser considerados inteiramente fiáveis. No laboratório, o mosto é filtrado num filtro de pregas e analisado no *Alcoolyzer*, que constitui um sistema de análise altamente preciso, que determina o extrato, a cor, o conteúdo em álcool e outros parâmetros de todos os tipos de cerveja.

2.2.1. Trabalho prévio

A cor do mosto é um parâmetro de qualidade cujo controlo ao longo do processo cervejeiro é essencial, de modo a padronizar a cor de uma cerveja, que contribui para a imagem de marca da cerveja. É importante que se evite um ganho excessivo de cor durante o arrefecimento do mosto, de modo a garantir que o mosto seguirá para as fases seguintes dentro da especificação definida.

A cor do mosto é um parâmetro que tem um elevado impacto nos objetivos de qualidade da SCC. Um dos principais objetivos no pilar da qualidade da SCC tem sido o desenvolvimento dos seus métodos de controlo, de modo a que se faça a transição de controlo do produto para controlo do processo, o que iria proporcionar uma maior e mais rápida capacidade de atuação, e por consequência uma menor dependência dos resultados obtidos no laboratório. A cor do mosto impacta na fase 5 deste plano (*TPM WCBO Program*, Figura 26), que está diretamente relacionada com o controlo em linha deste e de outros parâmetros, como o extrato presente no mosto, na filtração ou nas linhas de enchimento.

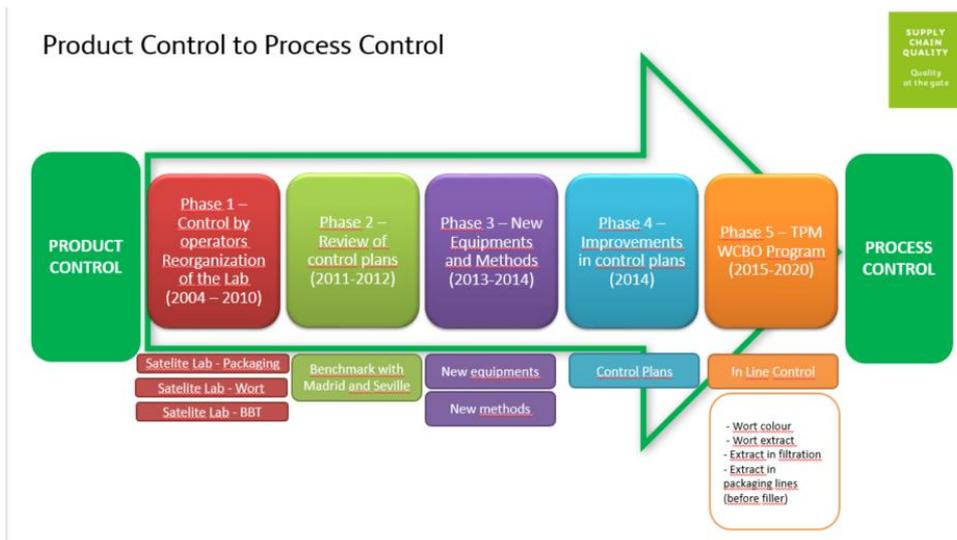


Figura 26 - Plano de transição de controlo do produto para controlo do processo delineado pelo pilar da qualidade da SCC, dividido em 5 fases.

De acordo com o gráfico de prioridades estabelecido em Janeiro de 2018, o **FTR** (*first time right*) **Produto Acabado** continha alguns dos seus parâmetros fora dos limites de especificação, e um deles era precisamente a cor do produto acabado.

Estudos prévios realizados na empresa prendiam-se com a necessidade de corrigir a posição dos medidores de cor, que estavam inicialmente instalados antes dos permutadores de calor que arrefecem o mosto. Os valores de cor obtidos eram muito elevados devido às altas temperaturas do mosto e não refletiam a cor real do mosto, medida através da escala EBC (*European Brewing Convention*). Assim sendo, foi feita a correção da posição dos medidores, tendo sido instalados após os permutadores de calor, de modo a poderem medir a cor do mosto já arrefecido, que se encontrava a temperaturas mais baixas (13°C), e cujas medições seriam mais aproximadas do real.

Os resultados obtidos do sensor estavam dependentes da leitura visual dos operadores, que tinham de se deslocar até ao aparelho para tirar a leitura. Como tal, esta monitorização era dependente de vários fatores variáveis, como a rotatividade de operadores e o momento de leitura em cada fabrico. De modo a colmatar esta lacuna, ambos os sensores de cor foram integrados na automação, sendo emitidos *reports*, que providenciam dados de medição de cor continuamente na linha (a cada minuto de produção). Esta obtenção contínua de dados permitiu uma análise mais detalhada da evolução da cor do mosto ao longo do seu arrefecimento, que se esperava que se mantivesse constante.

2.2.2. Lançamento da equipa

Para resolver os problemas encontrados na medição da cor do mosto, foi constituída uma equipa Kaizen que se dedicou a dissolver os desvios encontrados aquando do estudo do histórico de resultados. A equipa foi constituída por quatro membros:

- Pedro Correia (Trainee) – Análise de dados e proposta de soluções;
- Pedro Pereira (Team Leader Adegas) – Operacionalização;
- Bruno Marques (Operador Adegas) – Operacionalização;
- Hélder Jorge (Serralheiro Especialista) – Implementação mecânica;

2.2.3. Casos analisados

2.2.3.1. Disparidade de resultados *inline* vs. laboratoriais

O primeiro passo para a otimização da medição da cor do mosto arrefecido é proceder a uma análise profunda do histórico de dados, para perceber se existem desvios em relação ao esperado, e se, caso existam, esses desvios são consideravelmente elevados.

Para se poder analisar os dados *inline* referentes a fermentações anteriores e compará-los com os dados obtidos em laboratório, foi necessário recorrer a um método estatístico que proviesse essa possibilidade. Deste modo, foi desenhado um modelo estatístico de Shewhart para a cor do mosto arrefecido, que comparasse os valores obtidos pelos sensores em linha e os comparasse com os valores obtidos em laboratório, em concordância com o que já estava implementado para os valores de extrato.

Esta ferramenta estatística foi proposta em 1924 por Walter A. Shewhart dos “*Bell Telephone Laboratories*”, com o objetivo de controlar os processos de produção industriais e reduzir a variabilidade de resultados, aproximando-os. Segundo Shewhart, a variabilidade da característica de qualidade pode ter uma causa aleatória (*chance causes*), resultando em erros que têm impacto negativo na produção, e que estão diretamente relacionadas com a aleatoriedade da característica em estudo, ou causas assinaláveis (*assignable causes*), devidas à falta de manutenção e calibração dos equipamentos, mão-se-obra desadequada ou matéria prima não conforme (Morais, 2013).

Um gráfico de controlo de qualidade possui três linhas, que representam os limites a controlar:

- LCS - um limite de controlo superior (*lower control limit*)
- LCI - um limite de controlo inferior (*upper control limit*)
- LC – linha central, que representa a média da variável ou o alvo da característica.

A Figura 27 apresenta os principais elementos dos gráficos de controlo de qualidade de Shewhart tradicionais (Walter, 2013).

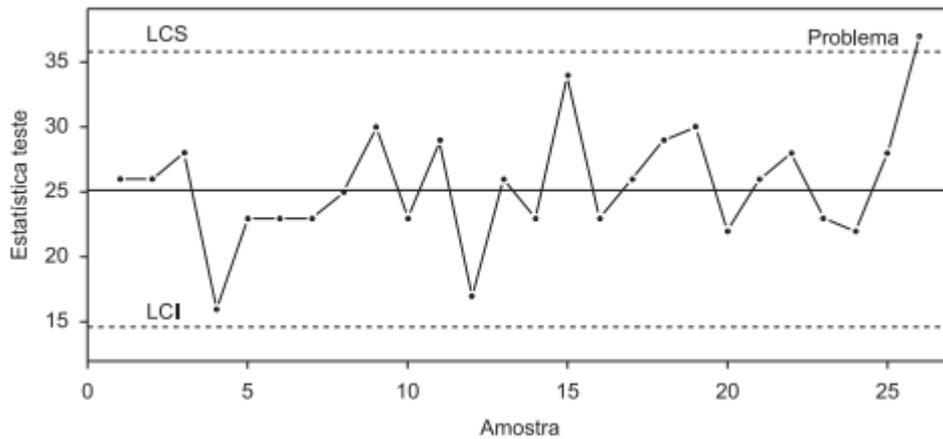


Figura 27 – Demonstração das três linhas de um esquema de controlo de qualidade: linha de controlo superior (LCS), linha de controlo inferior (LCI) e linha central (LC) (Walter, 2013).

O gráfico de controlo é uma técnica de monitorização de processos muito útil. Quando existem fontes de variabilidade pouco comuns, as médias das amostras estarão fora dos limites de controlo. Isto é um sinal de que deve ser feita uma investigação ao processo e agir de modo corretivo para remover essas fontes incomuns de variabilidade. O uso sistemático de um gráfico de controlo é uma excelente maneira de reduzir a variabilidade. Estes esquemas constituem uma ferramenta importante para assegurar a qualidade de um processo, e para o planeamento e inovação do processo (Montgomery, 2009).

Os resultados obtidos do teste estatístico para Sagres Branca na Sala 1 e Sala 2, que compara as medições do 2º fabrico de cada fermentador com o valor medido em laboratório para o mesmo fermentador, são os demonstrados na figura seguinte:

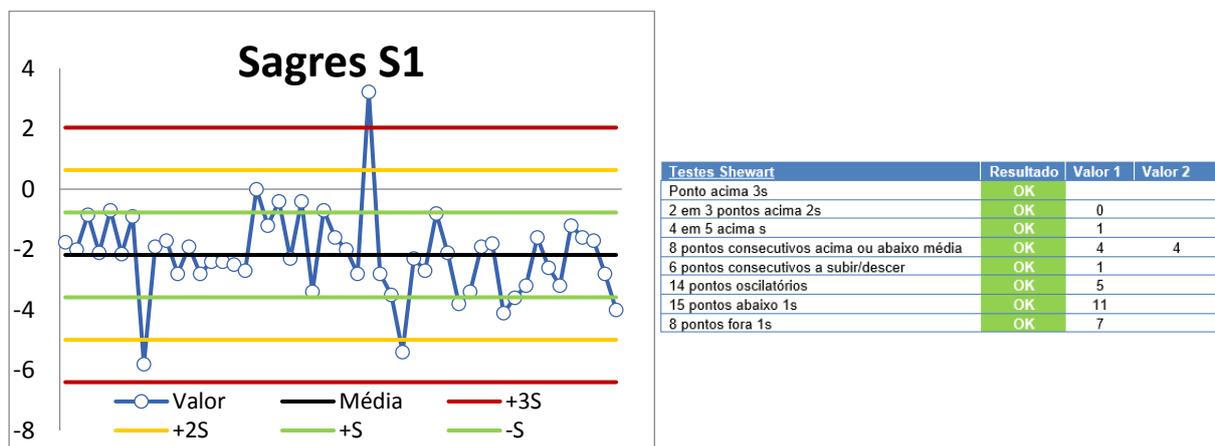
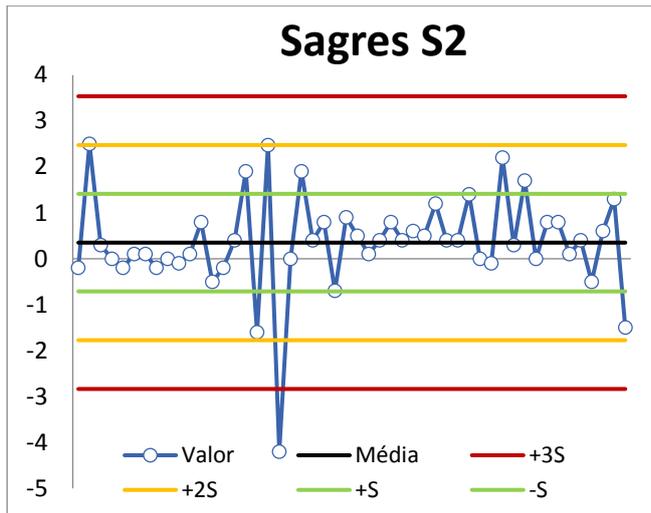


Figura 28 - Resultados do método estatístico de Shewhart para Sagres Branca (Sala 1)



Testes Shewart	Resultado	Valor 1	Valor 2
Ponto acima 3s	OK		
2 em 3 pontos acima 2s	OK	0	
4 em 5 acima s	OK	1	
8 pontos consecutivos acima ou abaixo média	OK	5	3
6 pontos consecutivos a subir/descer	OK	3	
14 pontos oscilatórios	OK	11	
15 pontos abaixo 1s	OK	12	
8 pontos fora 1s	OK	7	

Figura 29 - Resultados do método estatístico de Shewhart para Sagres Branca (Sala 2)

Como é visível nos gráficos apresentados em cima, os valores medidos em linha respeitantes à sala 1 estão, em média, 2^oEBC abaixo dos valores medidos em laboratório, enquanto os valores para a sala 2 estão cerca de 0.5^oEBC acima dos medidos em laboratório.

Por outro lado, em ambas as salas se verifica que os desvios apresentados estão dentro dos limites definidos, pelo que não falham nenhuma proposição do método de controlo de Shewhart.

Tendo em conta esta análise, era importante descobrir a razão pela qual os valores, em especial da sala 1, se encontravam desviados dos valores medidos pelo laboratório.

Antes da formulação de qualquer hipótese acerca dos desvios encontrados, é importante proceder-se à reposição da condição básica dos equipamentos intervenientes na medição de cor. Para tal, verificou-se que não existia qualquer plano de manutenção para os medidores de cor. Foi então formulado um plano de manutenção elétrica que contempla a substituição da lâmpada a cada 12 meses, e um plano de manutenção mecânica, que prevê a revisão da condição do sensor e a sua calibração anualmente, e a substituição do filtro de ar instalado após o secador, de modo a garantir que o ar comprimido que alimenta a lâmpada é estéril e não propicia a formação de condensados na lente ótica.

A primeira hipótese surgiu pelo facto de o mosto circular na linha a uma temperatura inferior a 15°C, enquanto que as análises feitas no laboratório eram feitas à temperatura ambiente (25°C). Sugeriu-se então a realização de um ensaio de medição de cor no laboratório a uma temperatura igual à temperatura do mosto em linha (inferior a 15°C), mas visto que existiram problemas com a reposição da condição básica do sensor, este ensaio não pôde ser realizado, uma vez que os potenciais desvios associados à falta de calibração não seriam eliminados.

Assim sendo, procedeu-se ao estudo e resolução da tendência crescente dos valores de cor ao longo dos fabricos, que se pensava terem igual impacto nos desvios verificados entre os valores *inline* e laboratoriais.

2.2.3.2. Cor do mosto crescente ao longo do enchimento do fermentador

Em teoria, o arrefecimento do mosto não provoca quaisquer alterações ao nível da cor do mosto (exceto na temperatura, que naturalmente baixa com o arrefecimento). Ainda assim, após análise dos primeiros resultados foi visível um incremento da cor ao longo dos fabricos de cada fermentador (figura 30). Em paralelo, é de notar que as medições efetuadas no *Alcoolyzer* em laboratório são constantes durante todos os fabricos, o que vai de encontro com o expectável, já que a receita em cada fabrico é a mesma.

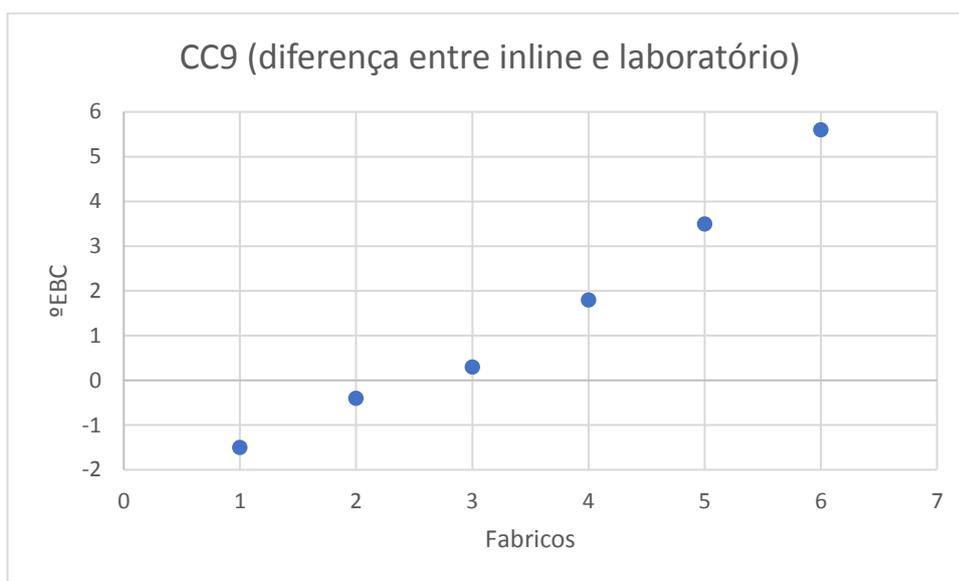


Figura 30 - Medição de cor para os 6 fabricos do fermentador cilindro-cónico 9 – diferença entre inline e laboratório

Foi então realizado um estudo para perceber a razão pela qual existe este incremento na cor ao longo dos fabricos. Inicialmente pensou-se que a razão pudesse advir do facto de a passagem de mosto pelo sensor poder levar à formação de moléculas de água condensadas na lente e, assim, comprometer a leitura. No caso de se formarem condensados na lente, a intensidade de luz (emitida pela fonte emissora) iria ser comprometida, sendo que a fonte recetora iria medir um valor de intensidade de luz inferior ao real e, portanto, atribuir um valor de cor superior ao mosto.

Para comprovar esta hipótese, procedeu-se à realização de um ensaio com passagem de água após cada um dos fabricos. Os resultados são os apresentados de seguida (figura 31):

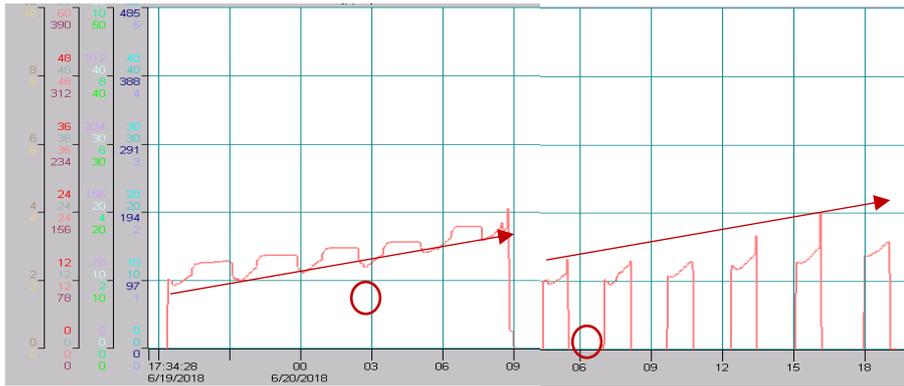


Figura 31 - Cor do mosto (em °EBC) medida para cada fabrico em fermentadores subsequentes; ensaio padrão (à esquerda), sem passagem de água entre fabricos, e ensaio teste (à direita), com passagem de água após cada um dos fabricos.

Como se observa acima, a passagem de água após cada fabrico confirma a existência de sujidade acumulada na lente ótica. Ainda assim, os resultados não são totalmente conclusivos, uma vez que apesar de ter sido corrigido o valor da leitura entre fabricos – leituras entre fabricos de valor zero representam a ausência de cor – a tendência crescente ao longo dos fabricos do fermentador não foi eliminada.

Após análise visual do estado do equipamento, confirmou-se a existência de condensados na lente ótica, como pode ser observado na Figura 32. A formação de condensados interfere na leitura do medidor de cor, já que impede a passagem completa de luz da lâmpada e a fonte recetora do sensor. Deste modo, a fonte recetora, ao receber luz com menor intensidade, e uma vez que a condição básica do equipamento diz respeito à isenção de partículas no sensor, não considera essa variável e, por sua vez, atribui esta redução de sinal a um aumento de cor do mosto, conferindo incorretamente um maior valor de cor.

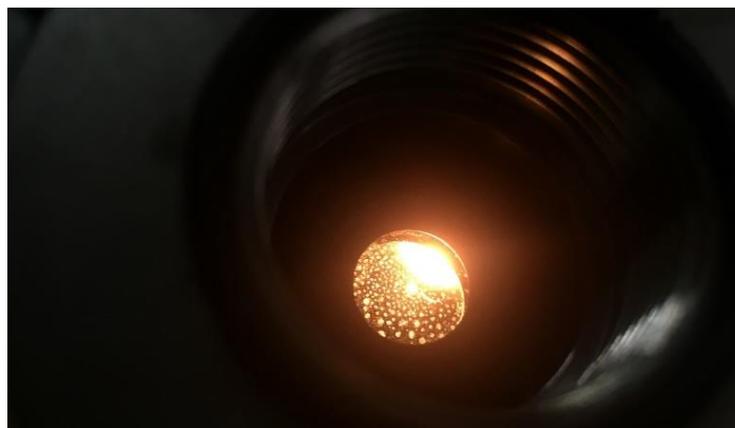


Figura 32 - Presença de condensados na lente ótica do medidor de cor

Os condensados formam-se na lente devido às diferenças de temperatura existentes entre o fluido circulante e o meio ambiente. Nas receitas efetuadas em Vialonga e de forma a garantir uma inoculação que não comprometa a integridade da levedura, o mosto é arrefecido temperaturas inferiores a 15°C. Deste modo, a diferença de temperatura para o meio ambiente é superior a 10°C, superando o limite estabelecido pelo fornecedor para a correta medição de cor pelo sensor.

Como descrito anteriormente, foi instalada uma entrada de ar comprimido com regulação de pressão para cada janela do sensor para evitar a criação de condensação, mantendo-se uma pressão de 0,1 bar. Todavia, se o filtro de ar não estiver segundo a sua condição básica, o ar comprimido pode não ser suficiente para erradicar a presença de condensados. Através de uma detalhada análise de resultados, chegou-se à conclusão que a presença de condensados na lente poderá ser apenas eliminada por evaporação aquando da limpeza das tubagens através de CIP (*Cleaning-in-place*), realizada com soda cáustica a elevadas temperaturas (superiores a 70°C). Como este procedimento só se verifica após enchimento do fermentador com o último fabrico de mosto, os condensados permanecem e acumulam progressivamente na lente, gerando valores de cor consequentemente maiores a longo dos fabricos que enchem o mesmo fermentador.

Foi delineado um plano de manutenção para o filtro de ar comprimido, que engloba a sua substituição a cada seis meses, de modo a garantir que a sua condição é conforme durante o período do seu funcionamento. Apesar de ter sido desenhado este plano de manutenção, o filtro não pôde ser substituído em tempo útil, devido a fatores externos à empresa.

Laboratorialmente, a cor do mosto está dentro de especificação e visto que o problema verificado se prende com o facto de as medições *inline* e do laboratório não coincidirem, e que algumas das alternativas propostas para o estudo do problema não são passíveis de serem implementadas tendo em conta o desenho da instalação, procedeu-se a uma linearização dos resultados, com recurso ao histórico de valores dos fermentadores antigos. Para tal, cruzaram-se os resultados de 12 diferentes fermentadores por fabrico, obtendo-se uma média de valores de cor para cada um dos fabricos. O fermentador CC4 foi selecionado como exemplo é demonstrado de seguida (tabela 9), bem como os gráficos que sumarizam os resultados obtidos para cada sala.

Tabela 9 – Exemplo da correção dos valores de cor (em °EBC) referentes à CC4, tendo em conta as diferenças existentes entre os valores *inline* e laboratoriais.

Data	Fermentador	Inline	Shewhart	Laboratório	Diferença	Corrigido
23/05/2018	CCT4	14,6	12,6		-1,4	13,6
	CCT4	16,0	14,0	13,8	0,2	14,0
	CCT4	16,5	14,5		0,5	13,5
	CCT4	17,9	15,9		1,9	13,9
	CCT4	19,7	17,7		3,7	14,0
	CCT4	22,6	20,6		6,5	14,8

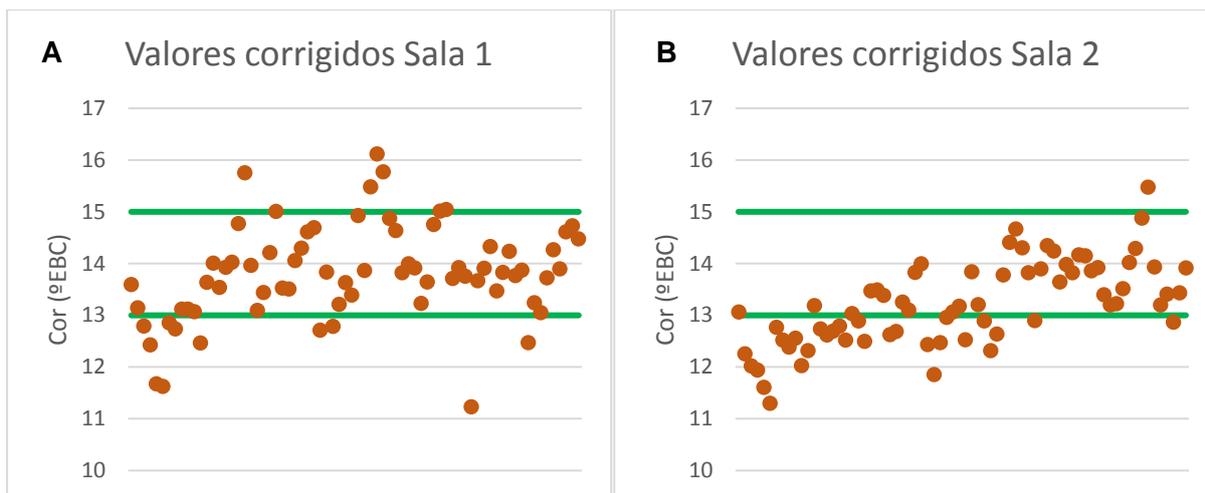


Figura 33 - Valores de cor (em °EBC) corrigidos para a Sala 1 (33A) e para a Sala 2 (33B). Os limites superior e inferior da especificação estão representados a verde.

Para a sala 1, alcançou-se 79,2% dos valores corrigidos dentro da especificação (entre 13 e 15), enquanto para a sala 2 apenas 57% dos valores alcançaram a margem especificada.

Assumiram-se os valores médios para cada fabrico e criou-se um novo parâmetro *offset* no *brewmaxx* relativo a cada um dos seis fabricos de cada fermentador, para cada uma das salas. Este parâmetro representa a ordenada na origem da reta de calibração para a cor no *brewmaxx*, e a sua alteração tem um efeito vertical, no eixo das abcissas, da reta.

Tabela 10 - Valores médios de diferença de cor em relação ao fabrico usado como padrão (2º fabrico).

	Sala 1	Sala 2
1º fabrico	-1,0	-0,6
2º fabrico	0,0	0,0
3º fabrico	1,0	0,8
4º fabrico	2,0	1,9
5º fabrico	3,7	3,2
6º fabrico	5,8	4,4

2.2.3.3. Leituras inesperadas ao longo dos fabricos

Após observação dos gráficos com os resultados da cor do mosto, foram evidenciadas algumas leituras inesperadas ao longo de cada fabrico. No início da leitura do sensor, o valor de cor é anormalmente alto, constituindo-se um pico para os primeiros 10 minutos de transferência de mosto do *whirlpool* para a fase de arrefecimento, sendo posteriormente o valor crescente até ao fim da transferência.

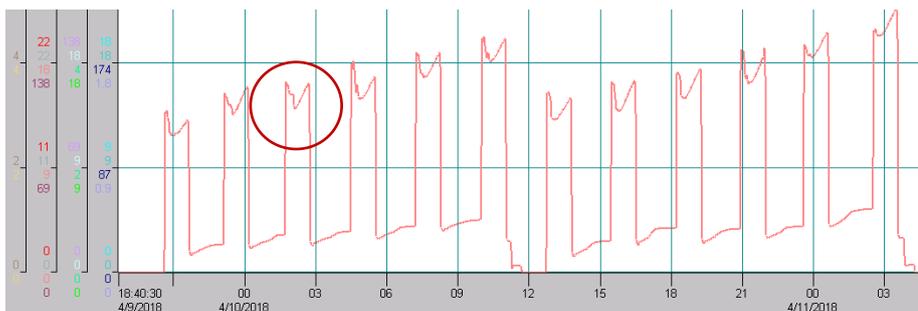


Figura 34 - Leituras de cor (°EBC) inesperadas nos fabricos de cada fermentador.

O pico verificado no início de cada fabrico é indicador de que, no início da transferência de mosto do *whirlpool* para a fase de arrefecimento, o mosto tem uma cor mais intensa do que no resto do fabrico. Como referido anteriormente, é no *whirlpool* que o mosto é clarificado, com o intuito de sedimentar a maior parte do *trub*, que é indesejável à composição final da cerveja. Esta clarificação dá-se por sedimentação do *trub*, sendo o mosto transferido em três andares, já que o equipamento possui três saídas de mosto verticalmente dispostas, de forma a que este seja transferido a partir do seu conteúdo superior, e permitir que o *trub* se deposite no fundo, sem que este passe para a fase subsequente.

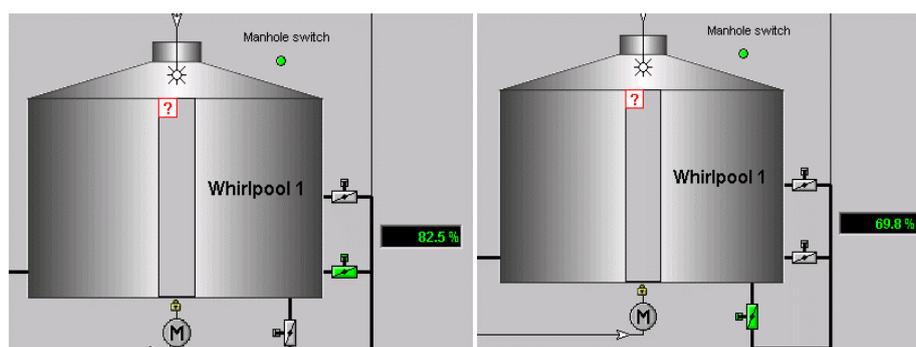


Figura 35 - Transferência de mosto realiza-se por três saídas, que são abertas verticalmente consoante o nível de mosto dentro do *whirlpool*. Na figura observa-se a transferência a ocorrer pela segunda saída (à esquerda) e pela última (à direita). A válvula aberta em cada um dos casos está representada a verde.

Como enunciado na introdução desta tese, o valor de cor transmitido pelo medidor de cor é obtido através de dois parâmetros: a cor do mosto a 430 nm e a turvação do mosto a 700 nm. Apesar do tempo de estacionamento do mosto neste equipamento, no início da transferência para a fase de arrefecimento, o *trub* pode ainda não ter sedimentado por completo no interior do *whirlpool* e, como tal, o mosto ainda apresenta alguma turvação significativa, o que se pode refletir no valor final de cor do mosto apresentado pelo sensor.

Para confirmar esta suposição, foi feito um ensaio de medição da turvação do mosto para os primeiros 22 minutos de transferência de mosto do *whirlpool* para a fase de arrefecimento, em dois fabricos distintos de salas distintas, visto que o pico era mais evidente nas medições do sensor da sala 1 em relação à sala 2. Foram efetuadas recolhas de mosto da linha de dois em dois minutos, desde o início da transferência, e registados os valores A, C, ABS e Cor lidos no sensor. Após a recolha, as amostras foram transportadas para o laboratório de físico-química, onde foi efetuada uma centrifugação

a 1500 rpm durante 20 minutos, de modo a poder posteriormente proceder-se à decantação do líquido remanescente e efetuar-se a pesagem dos sólidos depositados, que confirmariam a maior turvação do mosto neste período inicial. Os resultados obtidos são apresentados de seguida.

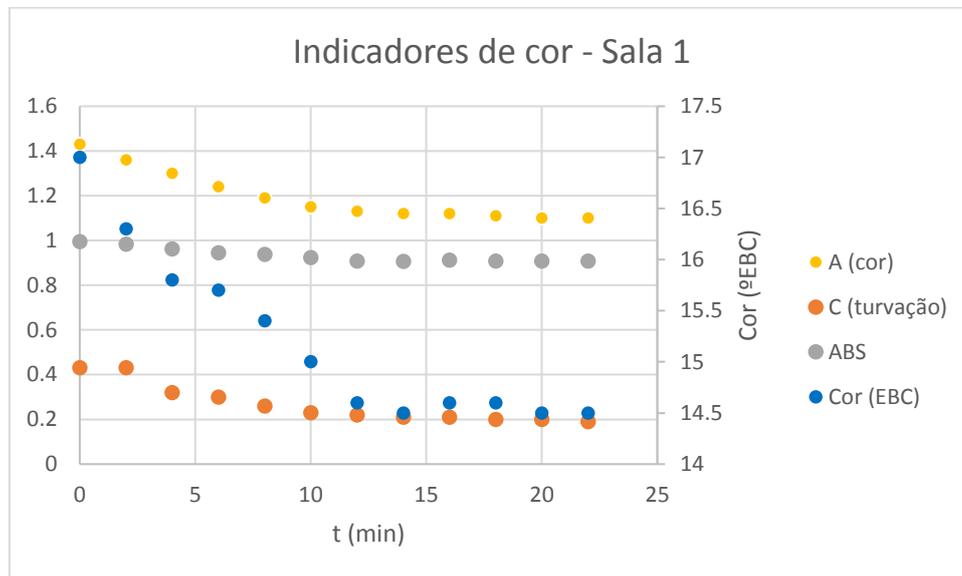


Figura 36 – Parâmetros de controlo da cor do mosto medidos inline para a Sala 1 - A, C, ABS e Cor (em °EBC).

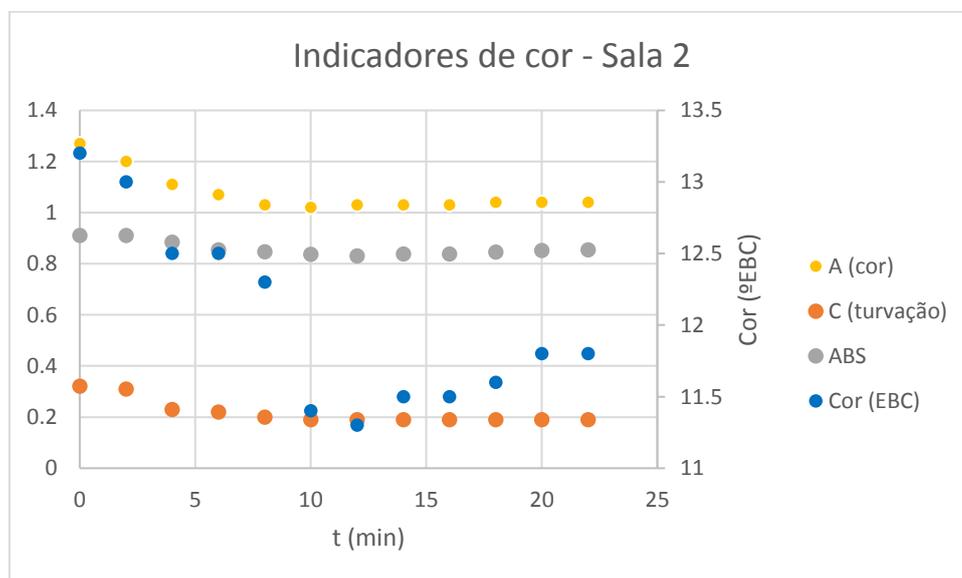


Figura 37 - Parâmetros de controlo da cor do mosto medidos inline para a Sala 2 - A, C, ABS e Cor (em °EBC).

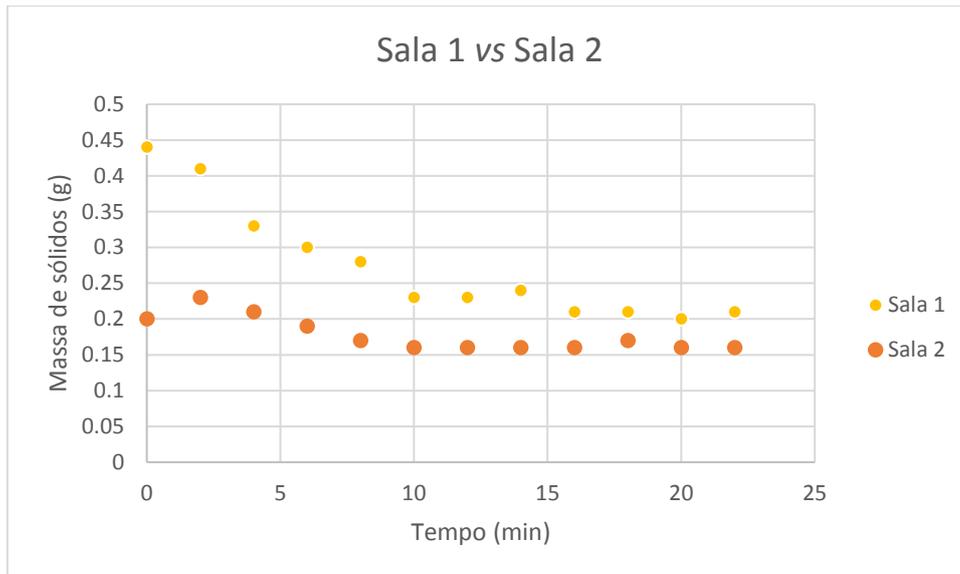


Figura 38 – Comparação da massa de sólidos obtida após centrifugação para a Sala 1 e para a Sala 2.

Através da análise dos resultados anteriores é confirmada a hipótese formulada de que nos primeiros 10 minutos de transferência de mosto, este é mais turvo pelo facto de o *trub* ainda estar a sedimentar, o que é traduzido num valor superior de cor dado pelo medidor de cor.

O fenómeno descrito é mais evidente na sala 1 do que na sala 2. Isto acontece porque o mosto fica estacionado durante mais tempo no *whirlpool* na sala 2 do que na sala 1 – cerca de 4 minutos a mais. Isto permite que o *trub* sedimente mais eficientemente na sala 2, o que diminui o fenómeno de arrastamento verificado anteriormente. Esta diferença é mostrada nas figuras 39 e 40, e na tabela 11.

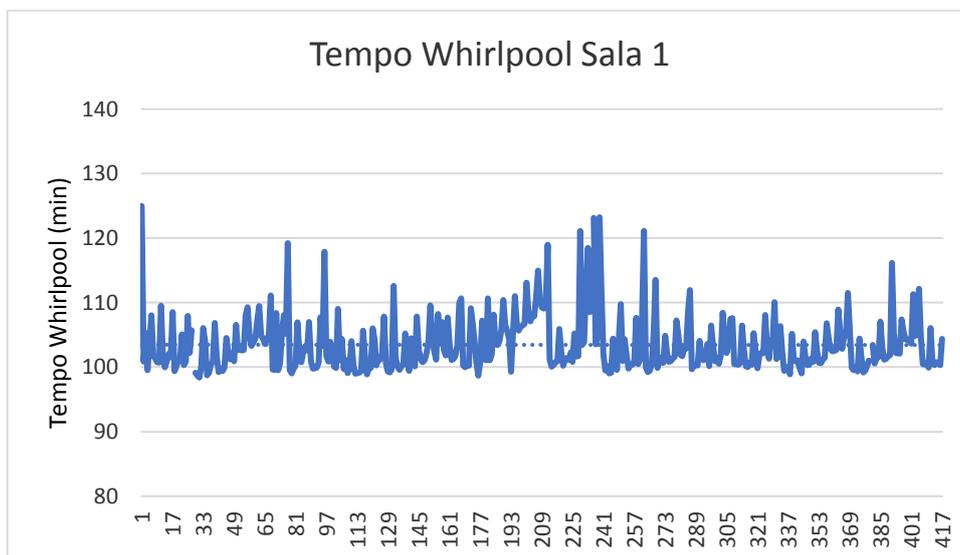


Figura 39 – Tempo de estacionamento do mosto no *whirlpool* proveniente da Sala 1.

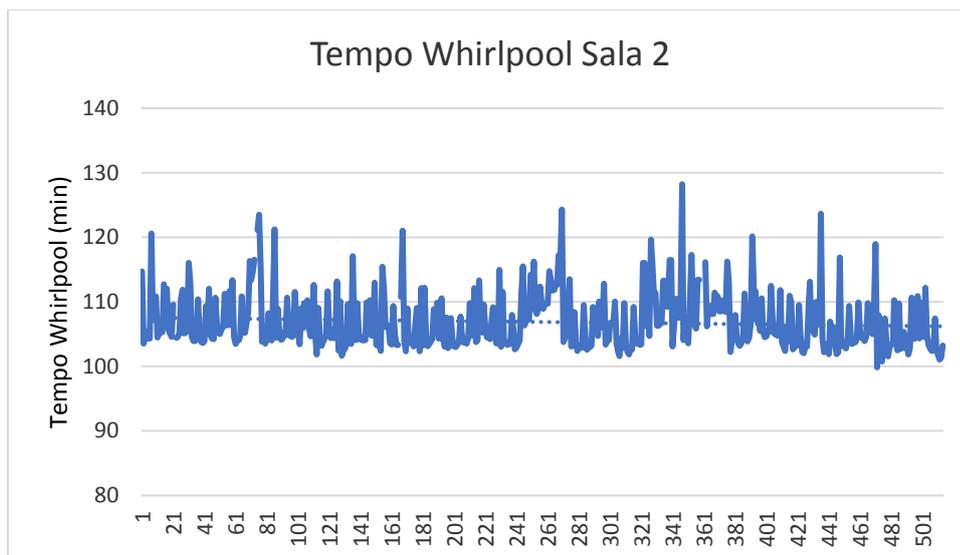


Figura 40 – Tempo de estacionamento do mosto no whirlpool proveniente da Sala 2.

Tabela 11 – Diferença de tempo de estacionamento entre a Sala 1 e a Sala 2.

	Tempo WP
Sala 1 (min)	104
Sala 2 (min)	108
Diferença (min)	4

A tendência crescente do valor da cor do mosto, verificada ao longo de cada fabrico, é explicada pela estacionaridade do mosto no *whirlpool*, antes de ser transferido para a fase de arrefecimento. Enquanto se dá a transferência, o mosto que permanece no *whirlpool* fica sujeito às elevadas temperaturas que existem no interior deste equipamento, dando-se a reação de Maillard.

A reação de Maillard é uma reação química que ocorre entre os grupos carbonilo de açúcares redutores e os grupos amino de aminoácidos, péptidos ou proteínas. Esta reação não-enzimática de escurecimento ocorre durante a preparação de muitos alimentos. Desde a sua descoberta em 1912, esta reação foi aplicada amplamente no desenvolvimento de precursores de cor, aroma e sabor para aplicações alimentares.

Os produtos da reação de Maillard são uma mistura particularmente complexa de vários compostos de diferentes pesos moleculares. Incluem não só aldeídos, cetonas, dicarbonilos, acrilamidas e aminas heterocíclicas, que contribuem para o sabor, mas também melanoidinas e produtos finais de glicação avançada, que são produtos poliméricos formados nas etapas avançadas da reação de Maillard (Wang *et al.*, 2011). Por outro lado, esta reação também é responsável pela destruição de aminoácidos essenciais e pela produção de compostos anti-nutritivos, que requerem mecanismos relevantes para o seu controlo (Jaeger *et al.* 2010). No que concerne ao processo cervejeiro, esta reação deve ser controlada, uma vez que a produção destes compostos em demasia pode conferir demasiada cor e aromas não desejados ao mosto.

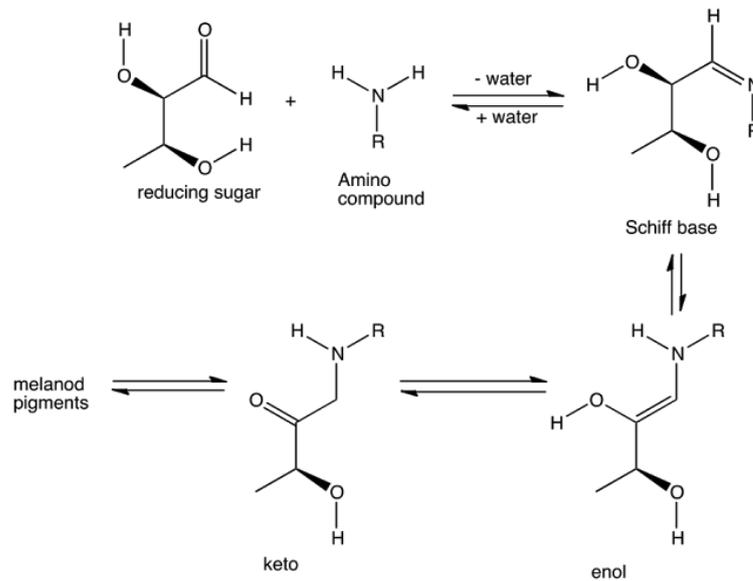


Figura 41 - Mecanismo de reação de Maillard, para formação de melanoidinas (http://www.cfs.purdue.edu/fn/fn453/ld_amino.html).

Visto que a transferência de mosto demora cerca de uma hora, o mosto estacionado no *Whirlpool* em sedimentação, antes de ser transferido, permanece a altas temperaturas – aproximadamente 80°C – e esta reação dá-se em tanta extensão, quanto mais tempo o mosto aí permanecer.

Em suma, a otimização dos resultados da cor do mosto reproduziu uma melhor concordância entre os valores obtidos em medições *inline* e laboratoriais. O uso do método estatístico de Shewhart permite também o controlo mais estrito no futuro deste parâmetro, indo mais uma vez de encontro aos objetivos de qualidade da SCC. A correção dos valores não-lineares obtidos no passado e a identificação de leituras inesperadas nos fabricos de mosto refletiu uma melhor reprodutibilidade de resultados de cor do mosto, dando um grande contributo em direção ao objetivo de se passar do controlo do produto para o controlo do processo, e não depender inteiramente dos resultados obtidos no laboratório.

2.3. Quebra de Extrato

A quebra de extrato é uma das principais oportunidades de melhoria associadas ao processo de produção da cerveja. Consiste no balanço de massa que quantifica a diferença entre o que se forneceu de extrato das matérias primas e o que foi gerado no mosto. Este parâmetro é muito importante para a companhia, já que uma elevada quebra de extrato, resulta num mosto pouco rico em açúcares fermentescíveis, traduzindo-se numa fermentação fraca e, por consequência, numa cerveja com baixo teor alcoólico, abaixo dos requisitos necessários em cada receita. Tendo em conta o histórico de resultados da SCC no ano de 2017, as perdas de extrato na fase de arrefecimento do mosto representavam cerca de metade das perdas registadas para a produção, sendo que uma grande fatia destas perdas estava intrínseca aos passos de transferência de mosto (0,88% das perdas totais). As perdas na Brassagem também eram consideravelmente elevadas, mas a parcela apresentada para as perdas nesta fase (2,25%) foi calculada para o ano 2017, sendo que foi descoberto no início de 2018 que o caudalímetro do mosto arrefecido estava descalibrado e, portanto, contribuía para uma sobrestimação do valor das perdas na fase anterior – o valor real de quebra de extrato para esta fase é, portanto, inferior atualmente. O valor correspondente à fase de arrefecimento do mosto foi então considerado o alvo prioritário, visto que o limite estabelecido para esta parcela era de 0,32%, como demonstra a figura 42. Esta parcela foi obtida de acordo com o cálculo do EBM 2018, que calcula a diferença entre o limite técnico e tecnológico estabelecidos.

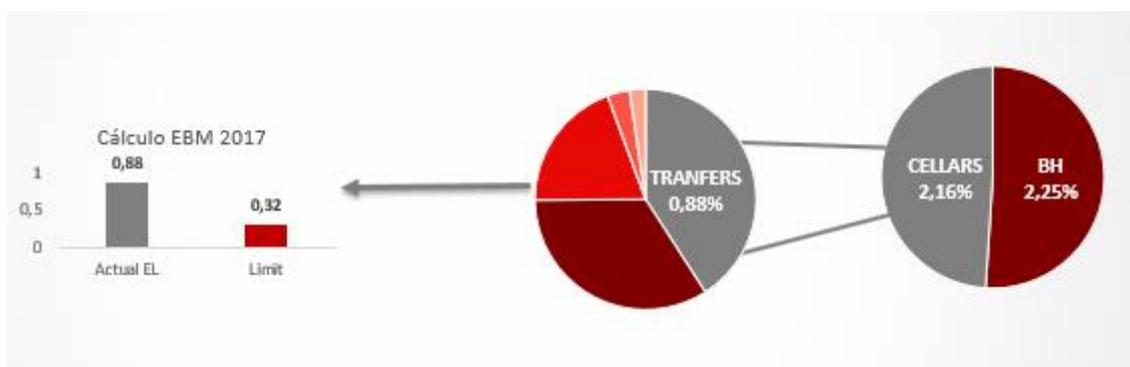


Figura 42 - Quebra de extrato na produção (4,41%), engloba as adegas (2,16%) e a brassagem (2,25%). Dentro das adegas, a maior parcela pertence às transferências de mosto (0,88%).

Sendo assim, a quebra evitável representa 0,56% (diferença existente entre o limite técnico e o limite tecnológico), o que é traduzido numa possível poupança de 78000€. A quebra de extrato representa então uma prioridade de grau 1 para a empresa, no sentido em que a otimização desta nas transferências de mosto pode levar a menores gastos para a SCC.

Fora do contexto económico, também se verificaram algumas lacunas no processo e no seu controlo. A ocorrência de formação de espuma excessiva nos fermentadores durante o processo fermentativo está também associada a quebras de extrato elevadas, visto que esta formação de espuma poderia estar associada ao crescimento excessivo da levedura, o que potencia a capacidade de fermentação da levedura além do desejado, sendo libertado um maior teor de CO₂ na fermentação alcoólica que contribuirá para que esse efeito de espumagem seja maior (Bamforth, 1985).

Em termos preventivos, verificou-se que não existia nenhuma matriz QA construída para as transferências, e que existiam vários pontos chave da fase de arrefecimento sem planos preventivos, sendo que todas as medidas que eram tomadas eram corretivas, o que não vai ao encontro com os objetivos de qualidade da SCC.

2.3.1. Trabalho prévio

Foi delineado um plano de ação de acordo com a metodologia proposta por Le Quang Hei, colega da HEINEKEN Vietname, para a sua tese de Master Brewer, com o tema “*Extract Loss Reduction: Bottom-up approach to top-down deployment in Asia Pacific region breweries*”, que foi desenvolvida com o principal objetivo de eliminar por completo o problema da quebra de extrato, atingindo o *target* da região Ásia-Pacífico de uma forma sustentável – desta forma, as indústrias cervejeiras poderiam focar-se em outros KPI's em detrimento de trabalhar constantemente para retificar este problema (Hei, 2015).

Geralmente, quando o objetivo é reduzir as quebras de extrato do processo, as indústrias cervejeiras procuram ações de melhoria rápida, mas o grande objetivo desta metodologia é consequentemente manter esta melhoria ao longo do tempo, definindo modos de prevenção para a insustentabilidade das perdas registadas no processo, e definindo as ferramentas a usar para atingir o *target* definido. A implementação deste método permite uma melhor definição de oportunidades de melhoria, e o desenvolvimento de um sistema sustentável para manter os ganhos e minimizar as perdas (Hei, 2015).

Para tal, foram definidos três passos chave para este processo:

1. Definir as áreas críticas do processo e estabelecer a relação entre a perda e o processo – Construção da Matriz QA;
2. Definição de condições de controlo e prevenção de falhas
3. Preparação de Matriz QM para 5M (*machine, material, method, man power, measurement*);

Esta abordagem é baseada na metodologia EFESO (Hei, 2015), e tem algumas vantagens como:

- Fiável (preciso, alinhado com EBM/BCS - *Business Comparison System*);
- Medição de cada ponto de quebra de extrato;
- Quando as perdas de extrato aumentam, a sua origem está caracterizada e podem tomar-se ações corretivas de uma forma rápida e simples;
- Definição de pontos de perda cuja monitorização diária é necessária, dado ao grande risco a eles associado, e de pontos que podem ser desprezados;
- O Sistema de coleção de dados desenvolvido para a produção é focado nos pontos de perda não controlados;
- Potencial de melhoria de tecnologias ou fatores externos (planeamento...).

2.3.2. Lançamento da equipa / Plano de Ação

Foi constituída uma equipa que se dedicou a identificar as inconformidades encontradas na linha de fabricação do mosto, com especial incidência na fase de arrefecimento do mosto. Para uma total cobertura da linha, era essencial integrar o responsável da manutenção mecânica, que está familiarizado com todas as falhas que ocorrem recorrentemente, bem como com a constituição e organização dos equipamentos existentes na linha. A equipa foi então constituída por três membros:

- Pedro Correia (*Trainee*) – Análise de dados
- Beatriz Teixeira (*Technologist*) – Implementação no *brewmaxx*
- Tiago Pêgo (Engenheiro Mecânico) – Implementação e manutenção mecânica

2.3.2.1. Matriz QA

A construção de uma Matriz QA é um processo padronizado que tem em conta as falhas ocorrentes ou potenciais no âmbito da Qualidade, e classifica a sua importância segundo uma escala, avaliando a robustez dos processos de fabricação e inspeção em relação aos modos de falha existentes. Esta matriz proporciona uma caracterização dos defeitos existentes na linha produtiva, fornecendo informação acerca da necessidade de se atuar sobre eles e o grau de urgência atribuído a cada um.

A matriz QA foi construída para análise dos pontos críticos do processo, responsáveis pela elevada quebra de extrato existente associada ao mesmo. O processo foi dividido em sete fases distintas, para uma mais fácil e rápida caracterização dos pontos críticos existentes:

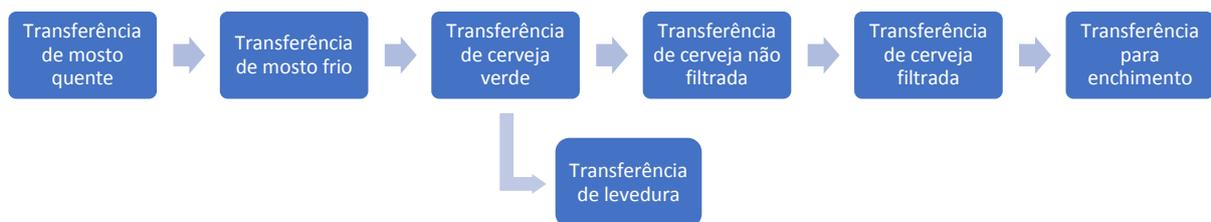


Figura 43 – Representação das 7 fases em que o processo foi dividido, para a construção da Matriz QA.

A cada fase do processo foram associadas as diferentes causas possíveis para a quebra de extrato, e associadas a cada um dos “cinco M” – máquina, método, mão-de-obra, material e medição. Foram ainda atribuídos pesos a cada uma das causas (2 – pouco relevante, 5 – relevante, 8 – prioritário), para aferir em que fases a intervenção é mais ou menos prioritária.

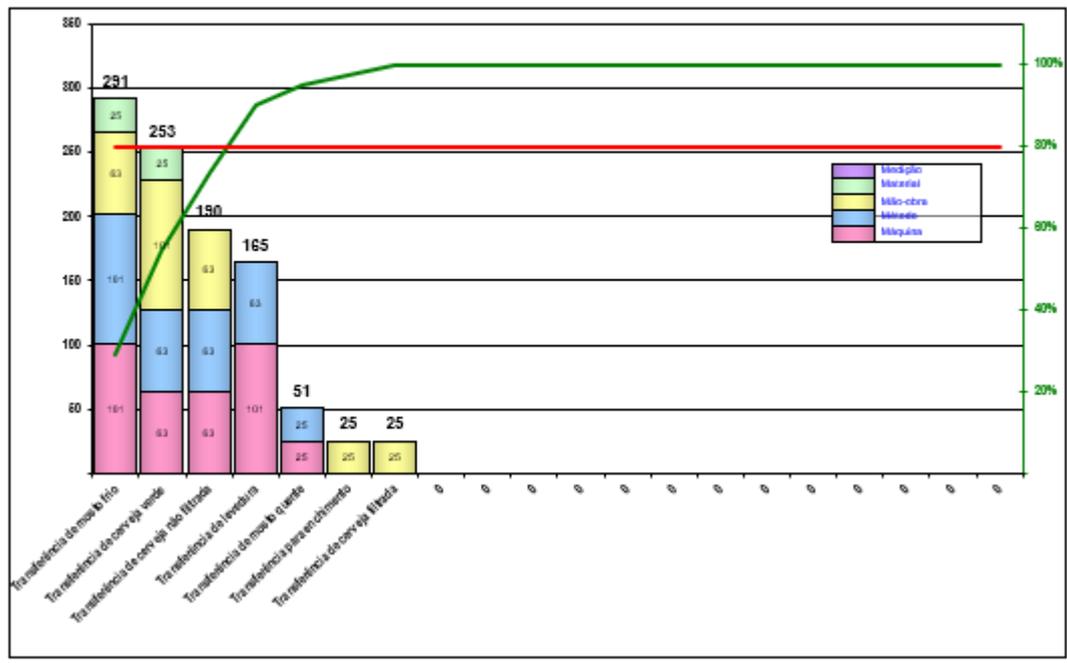


Figura 44 – Resultados da Matriz QA - 5M vs fases do processo.

Após análise da Figura 44, a transferência de mosto frio constitui a fase mais crítica do processo, e é portanto a fase onde o estudo tem de incidir com maior foco. Foram atribuídos graus de prioridade elevada a falhas na fase de arrefecimento do mosto associados a máquina (equipamentos) e método, o que torna esta fase um foco de intervenção.

Pela distribuição de pesos, pode também concluir-se que as falhas são maioritariamente associadas a máquina (35%), sendo que também são consideráveis as falhas relacionadas com o método (32%) e a mão-de-obra (28%). As falhas associadas a material/matéria prima são reduzidas (5%), sendo que não foram registadas quaisquer falhas associadas a processos de medição (Figura 45).

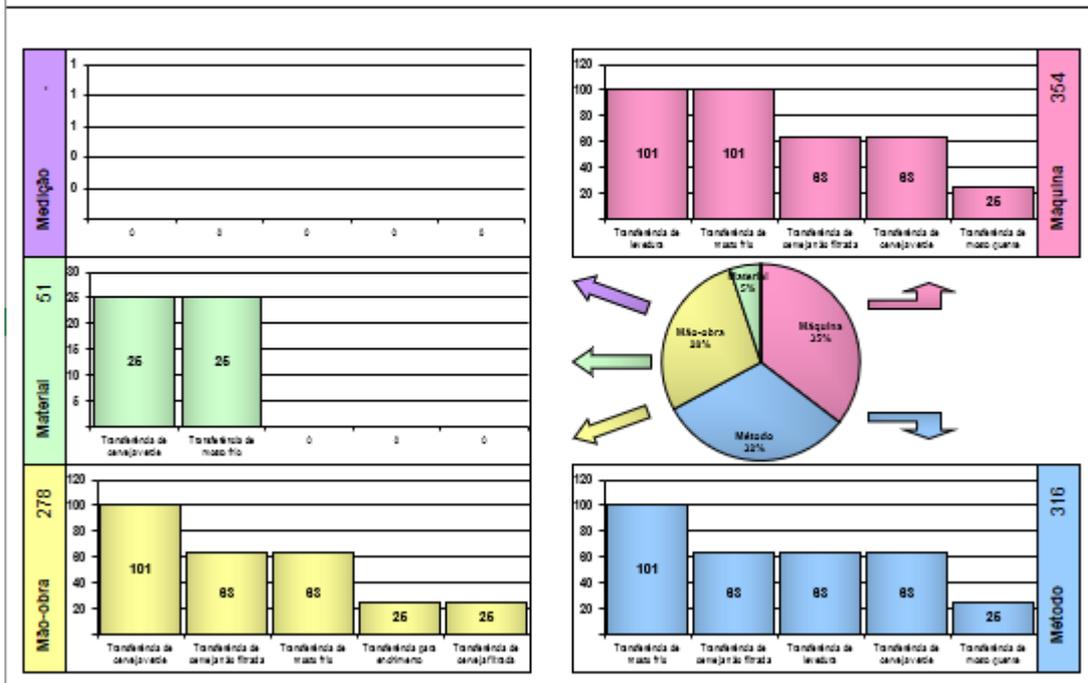


Figura 45 – Distribuição de pesos da ocorrência de falhas com base nos 5M.

2.3.2.2. Matriz QM

Tendo em conta a distribuição de falhas analisada na matriz QA, e a correspondência aos 5M, incidiu-se sobre a fase de arrefecimento do mosto para a construção da matriz QM. Esta matriz reflete de um modo mais descritivo cada falha encontrada na fase correspondente, e proporciona uma análise mais vasta do peso de cada M no defeito em questão, e da existência ou ausência de condições de controlo e prevenção do mesmo, de modo a poder-se delinear uma estratégia para a sua resolução.

A demonstração da matriz QM construída para a fase de arrefecimento do mosto é apresentada no anexo II.

Foram identificadas falhas em 9 componentes do processo, e descritas as falhas encontradas, bem como as condições de prevenção e controlo associadas aos 5M, à manutenção (auditorias e planos de manutenção) e ao corpo de gestão, e ainda os próximos passos a tomar para repor a condição ótima da linha.

É de realçar o facto de as falhas estarem altamente associadas à falta de planos preventivos, sendo que a maioria das ações de resolução postas em práticas são corretivas. Assim sendo, como planos futuros para a empresa, são urgentes a construção de planos de manutenção preventiva da instrumentação da linha de arrefecimento, com especial atenção à parametrização no *brewmaxx* da condição final de transferência no passo de *postrun to cooler*, e a adição de tarefas de inspeção visual ao CILT das Adeegas, que constitui uma tarefa do passo 4 da gestão autónoma da fabricação, que é um

processo que tem vindo a ser desenvolvido e implementado na SCC. Este processo tem como principal objetivo eliminar a dependência de manutenção corretiva, responsável pelo elevado tempo de paralisação dos equipamentos, perdendo-se a confiabilidade e a produtividade do mesmo, transformando-a numa mentalidade de antecipação, por realização de manutenção preventiva, intervindo antecipadamente no caso de haver possibilidade de ocorrer uma falha, e preditiva, acompanhando periodicamente os equipamentos através de coleta de dados e inspeções, o que reduz a zero a incidência de intervenções corretivas e tempos de paragem dos equipamentos indesejáveis.

Resumidamente, a construção das matrizes QA e QM contribuíram imenso para haver uma maior transparência de pontos críticos de quebra de extrato existentes na linha de fabricação de mosto. Com este estudo conseguiram identificar-se várias falhas no processo e proceder à construção de planos de manutenção preventivos, que antecipem e evitem essas situações, contribuindo para o melhor funcionamento do processo, tornando-o mais autónomo, estável e fiável. Foi importante proceder-se à construção destas matrizes já que, mais uma vez, sendo elementos integrantes de uma filosofia de qualidade e melhoria contínua, contribuem para os objetivos prioritários da empresa.

3. CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo a otimização das condições da fase de arrefecimento do mosto instalada na Sociedade Central de Cervejas e Bebidas (SCC), de modo a ir ao encontro dos objetivos prioritários definidos pela gestão no início do ano 2018. Este processo foi desenvolvido nas duas linhas de arrefecimento de mosto em três componentes específicos: arejamento, cor e quebra de material.

A construção de equipas de melhoria para o presente estudo compostas por diferentes pessoas de diferentes departamentos da empresa contribuiu para uma melhor discussão e perceção dos diferentes problemas e oportunidades de melhoria, direcionando os métodos de trabalho para um objetivo de qualidade comum, tomando sempre decisões ponderadas, inteligentes e inovadoras.

Existiram alguns obstáculos durante o estudo a nível de engenharia e manutenção, uma vez que a manutenção, reposição da condição básica e calibração dos equipamentos se revelou um processo muito moroso, comprometendo por vezes algumas opções tomadas, e obrigando a que fossem tomadas novas direções de atuação para obtenção de resultados. Também a ocorrência de algumas falhas na linha de arejamento do mosto comprometeu alguns ensaios que estavam planeados. Ainda assim, o esforço contínuo de todas as pessoas que em conjunto trabalham numa filosofia de melhoria contínua contribuiu para que fossem sempre pensadas alternativas viáveis.

Arejamento do mosto

A identificação de falhas e defeitos na linha do arejamento do mosto e a definição de novos *set-points* de injeção de ar permitiu otimizar as condições fermentativas da levedura, refletindo-se numa melhoria significativa nos parâmetros qualitativos da mesma, em especial na taxa de multiplicação e células mortas. Espera-se, com este estudo, que a otimização da injeção de ar produza efeitos significativos em fermentações futuras na SCC, uma vez que a produção de etanol pela *Saccharomyces cerevisiae* é impulsionada nas condições ótimas da levedura (Emily *et al.*, 2009), e as perdas de extrato serão reduzidas, já que o controlo do crescimento da levedura é controlado e a sua fase de exponencial é mais curta, gerando uma população com elevada capacidade fermentativa.

Contudo, devido à grande quantidade de variedades a controlar, o impacto da otimização ao nível da qualidade da levedura podia ter sido ainda maior. Futuramente, sugere-se uma comparação de resultados usando levedura da mesma geração, de modo a descartar esta variável, visto que a idade da levedura é uma condição que tem uma elevada influência na sua capacidade fermentativa (Powell *et al.*, 2003).

De modo a que esta otimização possa ter continuidade, propõe-se a avaliação da potencial substituição da injeção de ar comprimido na linha por O₂ puro, uma vez que tornaria teoricamente a dissolução de O₂ no mosto mais eficiente, eliminando a ocorrência de contaminações microbiológicas na linha de arejamento, e existe a possibilidade de ser uma vantagem a nível económico para a SCC, já que apesar dos custos de aquisição deste gás serem superiores ao ar comprimido, a quantidade necessária a usar seria muito inferior (Institute of Brewing and Distilling, 2016).

Cor do mosto

O método de medição da cor do mosto *inline* implementado na SCC foi aperfeiçoado, de modo a gerar valores concordantes com os laboratoriais, e para que fossem eliminadas as leituras inesperadas que surgiam nos fabricos de mosto. Esta melhoria traduziu-se numa melhoria dos resultados de qualidade, nomeadamente no FTR Produto Acabado, onde os valores obtidos para a cor atingiram o *target* definido.

Este trabalho contribuiu ainda para o desenvolvimento do WCBO *program*, e para uma maior sustentabilidade da linha de produção, uma vez que a correção dos valores *inline* permite um controlo preventivo do parâmetro, evitando a ocorrência de falhas e defeitos ao nível da cor, de forma a minimizar a necessidade de agir corretivamente em relação a esses mesmos defeitos. O presente estudo teve então uma enorme contribuição no sentido de se atingir a excelência tendo em vista a política de “zero defeitos” implementada na empresa.

Futuramente, deve procurar-se cumprir as normas do plano de manutenção preventivo construído, de modo a evitar que volte a ocorrer uma disparidade nos valores da cor. Sugere-se ainda a realização de ensaios de medição de cor do mosto, usando ar comprimido à temperatura do mosto cervejeiro (13°C), e também de ensaios de medição da cor em laboratório à mesma temperatura do mosto que circula nas tubagens, de modo a eliminar qualquer influência da temperatura na cor do mosto.

Quebra de extrato

A construção das matrizes QA e QM contribuíram a um grande nível para haver uma maior caracterização da linha de fabricação de mosto, e uma mais fácil identificação dos pontos críticos existentes associados a quebra de material. Com este estudo conseguiram identificar-se várias falhas no processo e proceder à construção de planos de manutenção preventivos, que antecipem e evitem essas situações.

Numa visão mais geral, este estudo teve uma grande contribuição para a empresa, no acompanhamento o crescimento e desenvolvimento de novas filosofias de qualidade. A “revolução industrial” que ocorre nos presentes tempos a uma grande velocidade, requer o acompanhamento por parte das empresas, automatizando e digitalizando os seus processos e produtos oferecidos ao consumidor, e na SCC procura-se sempre manter a excelência e inovação dos mesmos, para que a unicidade dos seus métodos e produtos se revele diferenciadora e eficaz no mercado.

Bibliografia

- Ahmed, T., Ali, S., Allama, M. e Parvez, M. (2010). A Total Productive Maintenance (TPM) Approach to Improve Production Efficiency and Development of Loss Structure in a Pharmaceutical Industry, *Global Journal of Management and Business Research GJM BR Classification FOR*, 10(2), pp. 186–190.
- Bamforth, C. W. (1985). The foaming properties of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 91(6), 370–383.
- Bamforth, C. W. (2003). *Beer: Tap into the Art and Science of Brewing* (2nd ed.). New York, Oxford University Press.
- Bassols, J., Kuckelkorn, B., Langreck, J., Schneider, R., & Veelken, H. (2002). Trigeneration in the food industry. *Applied Thermal Engineering*, 22(6), 595–602.
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., Stevens, R. (2004). *Brewing – Science and practice* (1st ed.). Cambridge / Boca Raton / Boston / New York / Washington DC, Woodhead Publishing Limited and CRC Press. Britannica, E. (2012).
- Coelho, A. (2008). *Implementação da Total Productive Maintenance (TPM) numa Empresa de Produção*. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Perfil de Manutenção e Produção, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Coghe, S., Vanderhaegen, B., Pelgrims, B., Basteyns, A. and Delvaux, F. R. (2003). Characterization of dark specialty malts: New insights in color evaluation and pro- and antioxidative activity. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 61(3), 125–132.
- Costa, M. (2014). *Implementação e validação da nova sala de brassagem*. Instituto Superior de Agronomia.
- Distillique Beverages, Lda. http://distillique.co.za/distilling_shop/blog/96-basics-of-yeast-nutrients. [Acedido a 13 de Março de 2018]
- European Brewery Convention (EBC), Section 9 Beer Method, 9.6 Colour of Beer (2004) Spectrophotometric method: Instrumental method. Analytica – EBC. Verlag Hans Carl Getranke Fachverlag: Nurnburg, Germany.
- Erdogan, S., Quesada-Pineda, H., Bond, B. (2017). An Empirical Tool to Measure the Effectiveness of Kaizen Events: A Case Study in the Wood Products Industries, *Forest Products Journal*, vol. 67, pp. 164, ISSN 0015-7473.
- Eßlinger, H., & Narziß, L. (2009). Beer. In *Encyclopedia of Industry Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Fornairon-Bonnefond, C., Demaretz, V., Rosenfeld, E., & Salmon, J.-M. (2002). Oxygen addition and sterol synthesis in *Saccharomyces cerevisiae* during enological fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 93(2), 176–182.

- Gomes, A.; Penedo, A.s (2008). Círculo de controle de qualidade como ferramenta para diminuição de custo numa indústria de fiação de algodão na cidade de Ituverava. *Nucleus*, Ituverava, vol 5, n. 1, apr. 2008. ISSN 1982-2278.
- Hari, R. K. Patel, T. R. and Marting, A. M. (1994). An overview of pigment production in biological systems: Functions, biosynthesis, and applications in food industry. *Food Reviews International*, 10, 49–70.
- Hei, L. Q. (2015). *Extract Loss Reduction: Bottom-up approach to top-down deployment in Asia Pacific region breweries*. Heineken Vietnam.
- Heineken (2008). Knowledge and Good Practices – Yeast growth and influences on extract losses. Portugal Supply
- Heineken (2009). Pillars and the Management Systems - Sustainability through Pillars and Management Systems. Nederland Supply.
- Heineken (2018). TPM Next – PQ Quality Pillar Route. Portugal Supply
- Jaeger, H., Janositz, A., & Knorr, D. (2010). The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie Biology*, 58(3), 207–213.
- Kautsky, H. (1939). Quenching of luminescence by oxygen. *Transactions of the Faraday Society*, vol. 35.
- Lei, H., Xu, H., Feng, L., Yu, Z., Zhao, H., & Zhao, M. (2016). Fermentation performance of lager yeast in high gravity beer fermentations with different sugar supplementations. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 122(5), 583–588
- Lodolo, E. J., Kock, J. L. F., Axcell, B. C., & Brooks, M. (2008). The yeast *Saccharomyces cerevisiae*: the main character in beer brewing. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1018–1036
- Luminița, Știrbu & Belu, Nadia & Bondoc, Maria Daniela. (2012). Quality Assurance Matrix in automotive industry. *ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY, Fascicle of Management and Technological Engineering*.
- Malik, S., YeZhuang, T., (2006). *Execution of Continuous Improvement Practices in Spanish and Pakistani Industry: A Comparative Analysis*, School of Management, Harbin Institute of Technology, P.R. China. 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology.
- F. D. Montanuci, M. Ribani, L. M. de M. Jorge, and R. M. M. Jorge, “Effect of steeping time and temperature on malting process,” *J. Food Process Eng.*, vol. 40, no. 4.
- Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th edition. John Wiley & Sons, Inc., pp.14-17.
- Morais, M. (2013). *Fiabilidade e Controlo de Qualidade. Notas de apoio — Controlo de Qualidade*, Caps. 8–11, 13, Instituto Superior Técnico.

- Morales, P., Rojas, V., Quirós, M., Gonzalez, R. (2015). The impact of oxygen on the final alcohol content of wine fermented by a mixed starter culture. *Appl Microbiol Biotechnol*, 99(9):3993-4003.
- Pinto, A. (2013). *Avaliação do processo de secagem no fabrico de malte*. Instituto Superior de Agronomia.
- Smythe, J. E. & Bamforth, C. W. (2000). Shortcomings of standard instrumental methods for assessing beer color. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 58(4), 165–166.
- Soares, H. (2007). *Globalização do Sistema de Manufatura baseado nas Estratégias de Melhoria Contínua em uma empresa do setor automotivo*. Dissertação de mestrado em Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Sobral, J. (2015). *Manutenção Produtiva e Gestão Lean*. Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, (Capítulo 7), pp. 1–11.
- Sociedade Central de Cervejas e Bebidas [Online]. Disponível: <http://www.centralcervejas.pt/pt.aspx>.
- Teixeira, B. (2014). *Melhoria do sistema de gestão da qualidade microbiológica da Filtração de cerveja*. Dissertação de mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar, Universidade Nova de Lisboa.
- The General Certificate in Brewing (GCB)*, Learning Material © Institute of Brewing and Distilling 2016
- Walter, O. M. F. C. (2013). Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico. *Gestão & Produção*, 20(2), 271–286.
- Wang, H.-Y., Qian, H., & Yao, W.-R. (2011). Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. *Food Chemistry*, 128(3), 573–584.
- White, C., Zainasheff, J. (2010). *Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation*, 2010.
- Willaert, R. (2006). *Section V. Beverages: the beer brewing process: wort production and beer fermentation. Handbook of Food Products Manufacturing*, vol. 1.

Anexos

Anexo I – LUP calibração dos sensores de arejamento

SCC – SOCIEDADE CENTRAL DE CERVEJAS E BEBIDAS, S.A.

LUP			
Área Adegas	Tipo: <input checked="" type="checkbox"/> C.Básico <input type="checkbox"/> Melhoria	<input type="checkbox"/> Problema <input type="checkbox"/> Segurança	Nº 1513
Pilar: <input type="checkbox"/> GA <input type="checkbox"/> MP	<input type="checkbox"/> Desenv. Pessoas <input type="checkbox"/> Melhoria Específica	<input type="checkbox"/> Higiene, Segurança e Ambiente <input checked="" type="checkbox"/> Qualidade	
Elaboração: Pedro Correia	Data: 12/03/2018	Aprovação: Beatriz Teixeira	Data: 12/03/2018
Tema: Calibração dos sensores de O ₂ no mosto arrefecido			



Atenção: Respeitar as regras de segurança definidas.

Garantir que não existe passagem de mosto ou CIP na tubagem aquando da remoção do sensor.

Para calibrar o sensor de O₂, sempre que **substituído ou alterado** de qualquer forma, e a cada **6 meses**, proceder de acordo com o seguinte:

1. Remoção e limpeza do sensor

- 1.1. Remover o sensor da linha de amostra, rodando a **peça A** no sentido anti-horário.
- 1.2. Enxaguar a cabeça do sensor (**peça B**) com água limpa.
- 1.3. Limpar a cabeça do sensor com um tecido limpo e macio para remover qualquer excesso de humidade.



2. Calibração de ar húmido a 100%

- 2.1. Agitar uma garrafa de água com cerca de 1/5 de volume de líquido com a tampa enroscada, de forma a criar uma atmosfera 100% húmida para a calibração.
- 2.2. **Calibration** → **Gas sensor** → **Configuration**.
- 2.3. Modo de calibração: **100% humid air calibration**.
- 2.4. Abrir a tampa da garrafa de água e inserir a cabeça do sensor na garrafa, de modo a este contactar com o ar húmido.
- 2.5. Premir **Start**.
- 2.6. Quando as caixas **Signal with range** e **Stability reached** indicarem **YES**, premir **Finish** para aceitar a nova calibração.
- 2.7. Se uma ou ambas as caixas continuarem a mostrar **NO** após 3 minutos, premir **Cancel** e repetir ensaio de calibração após 5 minutos.



Anexo II – Matriz QM

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 01 “Excesso de Cerveja no trub”	<i>Mão-de-Obra</i> Não Aplicável		
	<i>Máquina</i> <ul style="list-style-type: none"> Garantir que a condição “vazio” está parametrizada 	Cumprir plano de manutenção Garantir cumprimento OTIF	Elaborar um plano de manutenção preventiva da instalação
	<i>Método</i> <ul style="list-style-type: none"> Contemplar no plano de manutenção a aferição dos sensores de nível dos <i>Whirlpool</i> Definir corretamente <i>set-points</i> 	Verificar se o mosto quente difere do arrefecido em menos de 3%	
	<i>Material</i> Não Aplicável		
LPCT 02 “Manifold do mosto quente S1 e S2”	<i>Mão-de-Obra</i> <ul style="list-style-type: none"> Inspeção visual para deteção de fugas do manifold do mosto quente 		Adição de tarefa de inspeção ao CILT das Adegas
	<i>Máquina</i> Não Aplicável	Cumprir plano de manutenção Garantir cumprimento OTIF	
	<i>Método</i> <ul style="list-style-type: none"> Plano de manutenção mecânico preventivo do manifold do mosto quente 		
	<i>Material</i> Não Aplicável		

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 03 "Fugas no permutador de placas"	Mão-de-Obra • Inspeção visual para detecção de fugas no permutador de placas ❌		
	Máquina Não Aplicável	Cumprir plano de manutenção Garantir cumprimento OTIF	Adição de tarefa de inspeção ao CILT das Adegas
	Método <ul style="list-style-type: none"> • Inspeção visual de fugas com frequência anual • Substituição de juntas e manutenção das placas de 4 em 4 anos pelo fornecedor • Início e final da transferência suavizado através da programação na automação ❌	Inspeção visual para detecção de fugas do permutador de placas	
	Material Não Aplicável		

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 04 "Manifold do mosto frio S1 e S2"	Mão-de-Obra • Inspeção visual para detecção de fugas do manifold do mosto frio ❌		
	Máquina Não Aplicável	Cumprir plano de manutenção Garantir cumprimento OTIF	Adição de tarefa de inspeção ao CILT das Adegas
	Método <ul style="list-style-type: none"> • Plano de manutenção mecânico preventivo do manifold do mosto frio ✅		
	Material Não Aplicável		

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 05 <i>"Postrun to cooler (WX1, WX2)"</i>	Mão-de-Obra Não Aplicável		
	Máquina <ul style="list-style-type: none"> Garantir que a condição final de transferência está parametrizada 	Cumprir plano de manutenção	Elaborar um plano de manutenção preventiva da instrumentação
	Método <ul style="list-style-type: none"> Verificação de resultados com valores laboratoriais de extrato semanalmente Definição correta de <i>set-points</i> Plano de manutenção elétrica contemplar a aferição dos sensores 	Garantir cumprimento OTIF Verificar se existem desvios para os valores de laboratório	
	Material Não Aplicável		

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 06 <i>"Sequência WX1, WX2"</i>	Mão-de-Obra Não Aplicável		
	Máquina Não Aplicável	Cumprir plano de manutenção	Não Aplicável
	Método <ul style="list-style-type: none"> Plano de manutenção elétrica contemplar a calibração no prazo definido 	Garantir cumprimento OTIF	
	Material Não Aplicável		

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 07 "Injeção de ar"	Mão-de-Obra <ul style="list-style-type: none"> • Regulação da válvula de agulha para valores estáveis do ar • Limpeza semanal da válvula de contra-pressão • Garantir que a posição da válvula é adequada após limpeza CIP 	Cumprir plano de manutenção Garantir cumprimento OTIF Verificar a estabilidade da linha do ar Inspeção visual da válvula no fim de cada semana	Não Aplicável
	Máquina <ul style="list-style-type: none"> • Substituir diafragmas das válvulas de acordo com o plano de manutenção 		
	Método <ul style="list-style-type: none"> • Garantir que set-point de arejamento está bem definido • Plano de manutenção elétrica contemplar a calibração dos caudalímetros de ar • Substituição trimestral dos filtros de ar 		
	Material <ul style="list-style-type: none"> • Garantir caudal constante da rede do ar • Garantir a inexistência de condensados 		

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
LPCT 08 "Linha de arrefecimento do mosto"	Mão-de-Obra <ul style="list-style-type: none"> • Ter atenção ao posicionamento das curvas • Inspeção visual das curvas antes do arranque da linha 	Cumprir plano de manutenção Garantir cumprimento OTIF Inspeção visual para deteção de fugas no circuito durante o arrefecimento do mosto	Adição de tarefa de inspeção ao CILT das Adegas
	Máquina <ul style="list-style-type: none"> • Substituir vedantes das válvulas de acordo com o plano de manutenção 		
	Método <ul style="list-style-type: none"> • Cumprimento do plano de manutenção mecânica dos equipamentos • Verificar o circuito após arranque 		
	Material <p>Não Aplicável</p>		

LPCT 09
 “Enchimento
 do
 fermentador”

	Condição para prever a falha	Condições para o Shop floor	Ações
	Mão-de-Obra Não Aplicável		
	Máquina • Garantir que a condição de <i>postrun</i> existe 	Inspeção visual de possíveis perdas pelo tubo de respiração do fermentador	Não Aplicável
	Método • Verificar se a receita está bem parametrizada • Verificar se a condição de <i>postrun</i> está bem parametrizada 		
	Material Não Aplicável		